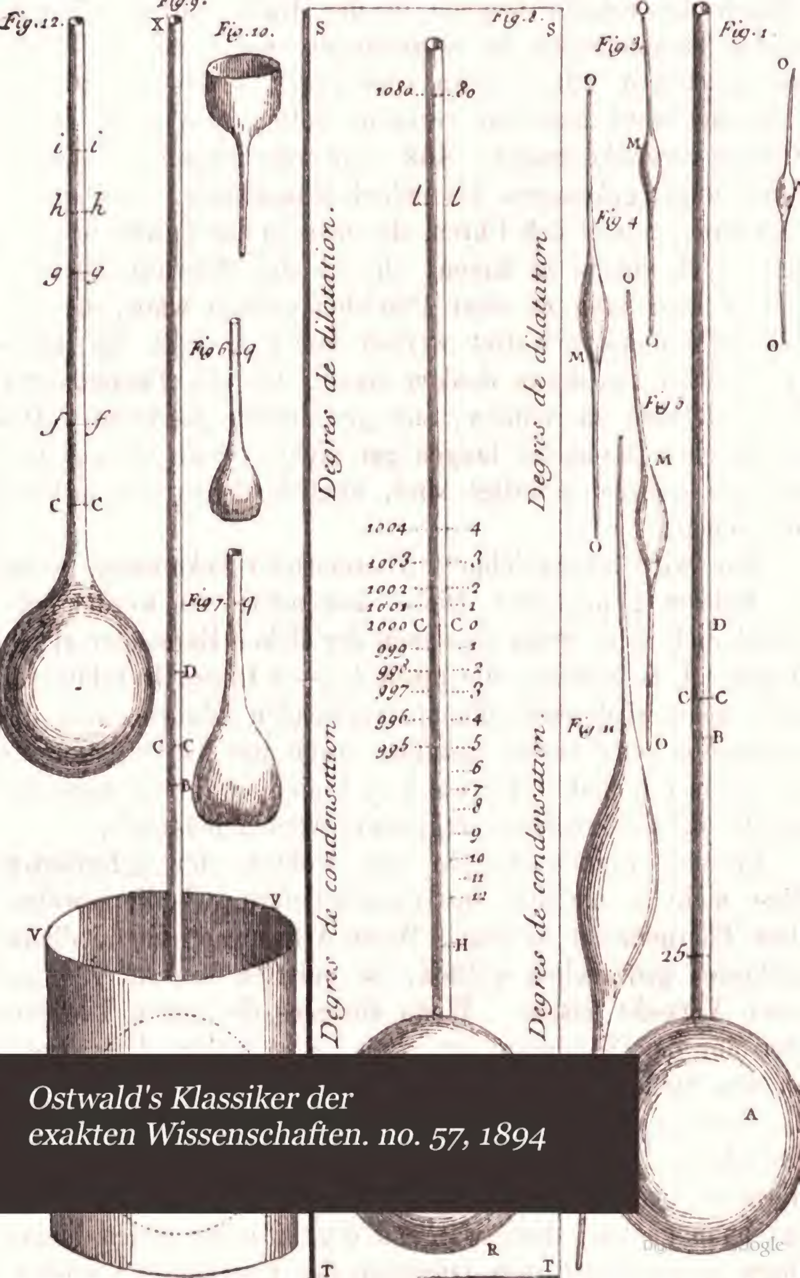


Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften. no. 57, 1894

OSTWALD'S KLASSIKER

DER

EXAKTEN WISSENSCHAFTEN

z. Z. herausgegeben von

Prof. emer. Dr. Arthur von Oettingen
Privatdocent in Leipzig.



Es … der

Nr. 1. H. Hel … S.) *M* —.80.
» 2. C. F. G … rkehrten Ver-
hältnis … ehungs- und
Abstos… 0 S.) *M* —.80.
» 7. F. W. I … 26.) Herausg.
von H.
» 10. F. Neu … schen Ströme.
(1845.)
» 11. Galile… trationen üb.
zwei n… 13 u. 2. Tag
m. 26 … rausg. v. A.
v. Oet…
» 12. I. Kan … H. Ebert.

Abhandlungen

über

THERMOMETRIE

von

FAHRENHEIT, RÉAUMUR, CELSIUS
(1724, 1730—1733, 1742).

Herausgegeben

von

A. J. von Oettingen.

Mit 17 Figuren im Text.

LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN
1894.

K

I.

Versuche über den Siedepunkt einiger Flüssigkeiten.

Von

Daniel Gabriel Fahrenheit.

Philos. Transact. London. T. XXX. 1724. S. 1—3.

---

[1] Als ich vor etwa zehn Jahren in der Geschichte der Wissenschaften der Königl. Gesellschaft zu Paris gelesen hatte, der berühmte *Amontons* habe mittels eines von ihm erfundenen Thermometers entdeckt, dass das Wasser bei einer bestimmten Temperatur koche, hegte ich sogleich den dringenden Wunsch, solch ein Thermometer mir selbst anzufertigen, um diese schöne Naturerscheinung meinen Augen vorzuführen und von der Richtigkeit dieses Versuches mich selbst zu überzeugen.

Deshalb machte ich mich an die Construction solch eines Thermometers, aber wegen mangelnder Uebung in derartigen Arbeiten waren meine Bemühungen umsonst, trotz häufiger Ansätze; und weil andere Aufgaben mich hinderten, sesshafter der Construction von Thermometern mich zu widmen, verschob ich alles auf günstigere Zeiten. Da aber der Mangel an Geschick und an Zeit meinen Wunsch nicht gemindert hatte, blieb ich höchst begierig, den Versuch zu sehen. Mir fiel wiederum ein, dass jener eifrige Naturforscher über die Berichtigung der Barometer geschrieben und gefunden hatte, dass die Höhe der Quecksilbersäule im Barometer einigermaassen (d. h. recht wohl bemerkbar) von der Temperatur des Quecksilbers abhängig sei. Daraus schloss ich, dass man ein Thermometer aus Quecksilber construiren könnte, und dass die Herstellung desselben nicht so schwierig sein könne; ich

hoffte mit demselben das so sehr ersehnte Experiment anstellen zu können.

[2] Die Herstellung solch eines Thermometers gelang und (trotz vieler Mängel) entsprach es meinem Wunsche; mit grösster Spannung und Freude betrachtete ich nun den wahren Hergang [1]).

Drei Jahre waren seitdem vergangen, in denen ich optische und andere Arbeiten vorhatte, als ich mich daran machte, zu untersuchen, ob auch andere Flüssigkeiten einen festen Siedepunkt hätten. Die Resultate der Versuche zeigt nachstehende Tabelle, deren erste Columne die angewandten Flüssigkeiten enthält; die zweite ihr specifisches Gewicht; die dritte den Wärmegrad, den jede Flüssigkeit beim Sieden erreicht.

Flüssigkeiten	Specifisches Gewicht bei 48° Wärme	Wärmegrad, der beim Sieden erreicht wird
Spiritus od. Alkohol .	8260	176
Regenwasser	10000	212
Salpetersäure	12935	242
Aschenlauge	15634	240
Vitriol-Oel	18775	546

Ich glaubte das specifische Gewicht jeder Flüssigkeit hinzufügen zu müssen, damit die von Anderen bereits angestellten oder noch anzustellenden Versuche, wenn sie von den meinigen abweichen, mit denselben verglichen werden und der Grund dafür auf ein anderes specifisches Gewicht zurückgeführt werden könne. Uebrigens sind obige Versuche nicht zu gleicher Zeit angestellt und daher könnten die Flüssigkeiten nicht von ein und demselben gleichen Grade der Wärme afficirt worden sein; da aber in verschiedener Weise und ungleich das specifische Gewicht verändert wird, habe ich alle Werthe auf 48 Grad bezogen (ein Stand, der auf meinen Thermometern gerade auf der Hälfte steht zwischen dem untersten Punkte strengster Kälte, wie man ihn durch Mischung von Wasser, Eis, Salmiak oder Seesalz erhält, und dem Grad von [3] Wärme, wie er im Blute des gesunden Menschen gefunden wird).

Flüchtige Oele fangen auch bei einem bestimmten Grade an zu sieden, aber während des Siedens vermehrt sich ihr Wärmegrad. Vielleicht deshalb, weil die flüchtigeren Theile

davongehen, während die harzigen mit stärkerer Attraction zurückbleiben.

Fette Oele (olea fixa) werden erst von sehr hoher Hitze erregt, so dass das Quecksilber im Thermometer zugleich mit ihnen zu kochen anfängt, daher ihr Siedepunkt (eorum calor) auf die angegebene Weise kaum sicher wird erforscht werden können. Ich habe aber eine andere Art ersonnen und hoffe, dass ich die Ehre haben werde, der berühmten königlichen Gesellschaft gegenüber später davon Mittheilung zu machen.

Ausser Alkohol und Wasser werden auch andere Flüssigkeiten ihren Siedepunkt verändern, besonders wenn man sie in grosser Menge anwendet und längere Zeit kocht.

II.

Experimente und Beobachtungen über das Gefrieren des Wassers im Vacuum.

Von

Daniel Gabriel Fahrenheit.

Phil. Transact. London. Vol. XXXIII. 1724. S. 78—84.

[**78**] Unter vielen wunderbaren Naturerscheinungen schien mir stets das Erstarren der Gewässer von nicht geringer Bedeutung; oft schon war ich begierig zu erforschen, welches die Wirkung der Kälte sein werde, wenn man das Wasser in einen von Luft entleerten Raum brächte. Und weil der 2., 3. und 4. März (nach altem Style) im Jahre 1721 solchen Versuchen günstig waren, wurden an den genannten Tagen nachstehende Beobachtungen und Experimente angestellt.

Ehe ich zur Beschreibung der Versuche übergehe, wird es nöthig sein in wenig Worten der Thermometer, die ich verfertigt habe, Erwähnung zu thun, sowie der Eintheilung ihrer Scalen, und ferner die Methode zu beschreiben, wie die Thermometer von Luft befreit werden. Zwei Arten von Thermometern werden von mir angefertigt, die eine ist mit Weingeist, die andere mit Quecksilber gefüllt. Die Länge wird je nach dem Zwecke verschieden gewählt. Alle aber kommen darin überein, dass sie in der Gradzahl der Scala übereinstimmen und zwischen bestimmten Grenzen ihre Variationen haben. Die Scala derjenigen Thermometer, die nur zu meteorologischen Beobachtungen dienen, fängt bei 0 an und hört bei 96 auf. Diese Scala beruht auf der Bestimmung

dreier Fixpunkte, die man auf folgende Weise erhält[2]); [79] der erste, unterste liegt am Anfang der Scala und wird gefunden durch eine Mischung von Eis, Wasser und Salmiak oder auch Seesalz; wenn man das Thermometer in diese Mischung taucht, so sinkt das Fluidum herab bis zu dem Punkte, der mit 0 bezeichnet ist. Dieser Versuch gelingt besser im Winter als im Sommer. Den zweiten Punkt erhält man, wenn Wasser und Eis ohne die erwähnten Salze vermischt werden; wenn man das Thermometer in diese Mischung taucht, wird die Flüssigkeit beim 32. Grade stehen und diesen Punkt nenne ich den Anfangspunkt des Gefrierens; denn stehende Gewässer überziehen sich schon mit einer zarten Eisschicht, wenn im Winter die Thermometerflüssigkeit diesen Grad erreicht. Der dritte Punkt befindet sich beim 96. Grade; und der Alkohol dehnt sich bis dahin aus, wenn das Thermometer im Munde oder in der Achselhöhle eines gesunden Menschen steckt und dort so lange gehalten wird, bis es vollkommen die Temperatur des Körpers angenommen hat. Soll aber die Temperatur eines Fiebernden oder an anderen Krankheiten Leidenden untersucht werden, so muss man ein anderes Thermometer anwenden, dessen Scala bis 128 oder 132 Grad verlängert ist. Ob diese Grade bei den hitzigsten Fiebern ausreichen, habe ich nicht erforscht, ich glaube aber nicht, dass die vorgenannten Grade in irgend einer Fiebergluth überschritten werden. Die Scala solcher Thermometer, die zum Bestimmen der Siedepunkte von Flüssigkeiten dienen sollen, fangen auch bei 0 an, reichen aber bis 600 Grad, denn bei dieser Temperatur ungefähr fängt das Quecksilber (womit das Thermometer gefüllt ist) selbst an zu kochen.

Damit aber die Thermometer von allen Temperaturänderungen rasch afficirt werden, sind statt der Kugeln Glascylinder angebracht, welche wegen ihrer grösseren Oberfläche schneller die Wärme durchströmen lassen.

[80] Nach dieser kurzen Erwähnung der Construction meiner Thermometer soll nun die Art der Evacuirung beschrieben werden, von der Anfangs die Rede war. Ein Glaskügelchen *A* an einer Röhre *BC* von 2 bis 3 Zoll Länge bei *C* verengert, wird über Feuer erwärmt, wonach das Ende in Wasser getaucht und so lange in demselben belassen wird, bis durch die Abkühlung der Luft im Kügelchen einige Tropfen Wasser in letzteres eingetreten sind; darauf bringt man die Kugel wiederum über die breitere Flamme einer Lampe oder

man hält sie mittelst einer Zange über glühenden Kohlen, bis das eingeschlossene Wasser zu kochen anfängt und Wasserdämpfe wie bei der Aeolipile heftig ausströmen. Dieses Kochen wird einige Zeit fortgesetzt, dann das Kügelchen vom Feuer fortgenommen und das Ende der Flamme einer Kerze genähert Während das Kügelchen sich abkühlt, wird auch der vom Feuer erzeugte Dampf condensirt, die Dämpfe entweichen weniger heftig, und nachdem solches aufgehört hat, wird in demselben Moment das Ende zugekittet, indem man dasselbe hermetisch zuschweisst und es so luftleer erhält. Ob in solcher Weise die Evacuirung von Luft gelungen sei, kann man erfahren, wenn man das Ende unter Quecksilber abbricht, wobei das ganze Kügelchen sich mit Quecksilber anfüllt, wenn man nur die Spitze vorsichtig ohne Zutritt der Luft abgebrochen hat. Man kann das Abbrechen auch unter Wasser vornehmen, doch wenn man hierbei auch die allergrösste Sorgfalt beobachtet, so wird dennoch das Kügelchen nicht ganz mit Wasser angefüllt; während nämlich das Wasser in das evacuirte Kügelchen eintritt, wird Luft, die immer im Wasser in einer gewissen Menge enthalten ist, von demselben in sehr kleinen Bläschen abgesondert, die zusammenlaufend in Form eines grösseren Bläschens im Kügelchen auftreten. Man kann ebenso die Füllung ausführen, wenn man den dritten Theil oder die Hälfte oder noch mehr mit Wasser anfüllen will; nachdem aber solches geschehen, wird wieder das Kochen hervorgerufen, [**81**] dann wieder hermetisch verschlossen. Nach diesen Erläuterungen gehen wir zu den Versuchen über.

Die Glaskugel hatte ungefähr einen Zoll Durchmesser. Nachdem sie evacuirt und etwa zur Hälfte mit Regenwasser angefüllt war, am 21. März 1721, setzte ich sie der Kälte aus. Die Lufttemperatur nach einem nebenbei aufgestellten Thermometer betrug 15 Grad*). Nach Verlauf einer Stunde fand ich das Wasser im Kügelchen noch flüssig, und glaubte, das Wasser sei noch nicht gehörig von der Kälte durchdrungen; um aber allen Zweifel zu benehmen, liess ich das Kügelchen die ganze Nacht hindurch im Freien. Am folgenden Tage, am 3. März, früh Morgens um 5 Uhr fand ich das Wasser noch immer flüssig, das Thermometer aber zeigte dieselbe Temperatur, und ich schrieb nun dieses unvorhergesehene Phänomen der Abwesenheit der Luft zu. Zur Erhärtung der

*) = — 9,4 Grad Cels. D. H.

Richtigkeit dieser Erklärung brach ich die Spitze ab, damit die Luft wieder hineinstreiche; nachdem solches geschehen, wurde die ganze Wassermasse äusserst schnell von feinen Eislamellen durchsetzt. Ich wollte nun vor einer Wiederholung des Versuches durch ein anderes Experiment feststellen, ob diese Eislamellen auf Wasser schwimmen würden, und zerbrach deshalb das Kügelchen und schüttete etwas vom Eise in einen mit Wasser gefüllten Glasbecher und sah sie schwimmen.

Während ich nun meine Augen auf kurze Zeit anderswohin gelenkt hatte und sogleich wieder auf den Glasbecher blickte, sah ich das Wasser durch und durch mit Eisnadeln durchsetzt, während die Zwischenräume zwischen diesen grösstentheils flüssig blieben. Das Thermometer stellte ich in diese Flüssigkeit und fand 32°. Begierig das Phänomen genauer und aufmerksamer zu beobachten, entschloss ich mich, den Versuch mit zwei anderen Kügelchen zu wiederholen; [82] nachdem dieselben wie zuvor vorbereitet waren, exponirte ich sie eine Stunde lang der äusseren Luft, die Flüssigkeit im Thermometer wies bereits 20° auf*). Nach Verlauf einer Stunde fand ich das Wasser in beiden Kügelchen flüssig, und nachdem der leere Raum wieder mit Luft gefüllt war, traten äusserst schnell (citissime) wieder Eislamellen im Wasser auf (wie beim ersten Versuche), und ihr Entstehen war ein so schnelles, dass man es kaum mit den Augen verfolgen konnte. Und da die Eisbildung im Becherglase meinen Augen entgangen war, war ich besonders begierig, dieses Phänomen zu sehen und die Entstehung der Lamellen aufmerksamer zu betrachten. Ehe ich aber das zweite Kügelchen zerbrach, befreite ich das Becherglas von den Eislamellen; dann erst zerbrach ich das Kügelchen und schüttete das Eis in den Becher. Das Eis schwamm wiederum, aber die Lamellenbildung wurde vergeblich von mir erwartet. Durch Geschäfte abgehalten, musste die Fortsetzung der Versuche bis zur Nacht verschoben werden. Nachdem dieselbe hereingebrochen war, um 11 Uhr Abends, setzte ich wiederum drei Kügelchen der Kälte aus. Zwei waren bis zur Hälfte gefüllt, die andere Hälfte blieb leer; im dritten jedoch blieb nur ein Viertel der Kugel leer. Die Temperatur der Luft betrug 26°**).

*) = — 6,7 Grad Cels. D. H.
**) = — 3,3 Grad Cels. D. H.

Um 4 Uhr Morgens fand ich dieselbe Temperatur und das Wasser in den beiden zur Hälfte gefüllten Kugeln flüssig; in der dritten war das Wasser gefroren und die Kugel zerbrochen. Das Eis war mit sehr kleinen und feinen Bläschen durchsetzt, die Durchsichtigkeit war stark gemindert und erinnerte an eine unregelmässige Krystallisation eines Salzes. Ich schrieb diesen entgegengesetzten Erfolg einem unsichtbaren [**83**] Riss im Glase zu, und meinte, die äussere Luft sei da eingedrungen und habe das Erstarren bedingt.

Wie ich nun so sehr begierig war, die Generation der Lamellen im Glasbecher aufmerksam zu betrachten, und da ich den letzteren aus dem Wohnzimmer in den Raum gebracht, wo die Versuche angestellt wurden, so wollte ich die wenigen Stufen emporsteigen, hierbei verfehlte ich eine Stufe, so dass der Becher stark gestossen wurde, und in demselben Momente schien die ganze Wassermasse von Eislamellen durchsetzt. Aus diesem zufälligen Ereigniss ersah ich, dass Eis in genügend kaltem Wasser durch Erschütterung hervorgebracht werden könne; sehr begierig war ich am folgenden Tage durch den Versuch festzustellen, ob das Gefrieren auch im Vacuum durch Erschüttern zu Stande käme. Nachdem das Kügelchen einigermaassen geschüttelt worden war, erschaute ich zu meinem grössten Entzücken das Schauspiel und erkannte sofort meinen Fehlschluss, indem ich den flüssigen Zustand der Abwesenheit der Luft zugeschrieben hatte. Ich erkannte an dem Thermometer, dass die Kälte abnahm, die Flüssigkeit war bis 28 Grad emporgestiegen*); rasch trennte ich das Eis mit der Hand, exponirte wieder ein Kügelchen der Luft (das andere war leider zerbrochen). — Nach einer halben Stunde merkte ich, dass der Frost noch weiter nachliess, das Thermometer hatte 32 Grad erreicht. Und da ich einsah, dass bei geschwundenem Frostwetter eine Wiederholung der Versuche ein eitles Beginnen sei, wenn die Kügelchen noch länger der Luft exponirt blieben, so versuchte ich gerade jetzt noch einmal durch Schütteln das Erstarren hervorzurufen; aber so stark ich sie auch bewegte, es erschienen doch nicht die geringsten Zeichen von Erstarrung. Da nun auf diese Weise alle Hoffnung auf weiteres Erstarren gescheitert war, so wollte ich noch versuchen, ob nicht [**84**] jetzt noch durch Zutritt der Luft die Erstarrung eintrete. Ich zerbrach die Spitze und

*) = — 2,2 Grad Cels.

sah sehr feine Eisnadeln durch die ganze Wassermasse hindurch entstehen, welche beim Rotiren des Wassers nach oben strebten und im Reflex des Lichtes von ihrer glatten Oberfläche einen wunderbaren Anblick gewährten. Da der Frost für diesen Winter mit diesem Tage aufhörte und damit die Versuche beendet waren, so nahm ich mir vor, in günstigerer Jahreszeit anderweitige Versuche anzustellen, die ich mir zurechtgelegt hatte. Der Winter 1722 war dermassen mild in Holland, dass die ganze Zeit hindurch die stehenden Gewässer kaum mit einer Eisdecke versehen waren. Und obgleich der Winter im Beginn des Jahres 1723 viel strenger war, so hinderte mich doch die Fülle von Geschäften und die grössere Nothwendigkeit anderer Versuche, jene wieder aufzunehmen. Einige Ueberlegungen betreffs der Ursachen dieser Erscheinungen würde ich zwar gern beifügen, aber wegen der ungenügenden Zahl von Versuchen will ich sie unterdrücken. Es genüge mir, die Versuche und Beobachtungen mitgetheilt zu haben, in der Hoffnung, dass dieselben von Männern, mit scharfsinnigem Geiste begabt, einer Beachtung gewürdigt werden.

III.

Specifische Gewichte einiger Substanzen, zu verschiedenen Zeiten zu verschiedenen Zwecken bestimmt.

Von

Daniel Gabriel Fahrenheit[3]).

Phil. Transact. London. Vol. XXXIII. 1724. S. 114—118.

Gold	19081
Quecksilber	13575*
Blei	11350
Silber	10481
Kupfer (schwedisch) .	8834
Kupfer (japanisch) .	8799
Eisen	7817
Zinn (aus einer Provinz Ostindiens, vulgo Malacca)	7364
Zinn (englisch) . . .	7313
Wismutherz	9850
Antimon	6622
Messing	8412
Bergkrystall	2669
Feuerstein homogen	2584
Kochsalz	2125
Salpeter	2150
Alaun	1738
Zucker (albiss.) .	$1606\frac{1}{2}$
Vitriolöl	$1877\frac{1}{2}$*
Gesättigte Pottaschenlösung .	1563*
Dasselbe (ein anderes Mal) . . .	$1571\frac{1}{3}$*
Salpetersäure . .	$1293\frac{1}{2}$*
Regenwasser . . .	1000
Rüböl	913
Alkohol	826
Derselbe (stärker) .	825

[115] Die Versuche sind verschieden angestellt worden. Feste Körper wurden, wie gewöhnlich, erst mit einer genauen Waage in der Luft gewogen und dann nochmals, während sie in Regenwasser tauchten. Das Gewicht der Salze wurde zuerst in der Luft, dann in einer passenden Flüssigkeit bestimmt, und dann durch Rechnung mit dem Gewicht des

Wassers verglichen. Das specifische Gewicht der Flüssigkeiten wurde indessen mit einem eigenthümlichen Aräometer (dessen Beschreibung ich ein anderes Mal geben werde*), zum Theil aber auch mit den beistehend abgebildeten Gefässen bestimmt.

[116] Es wird eine ziemlich grosse Kugel *A* (Fig. 1) vor der Flamme der Lampe geblasen und mit zwei Glasröhren an entgegengesetzten Enden versehen. Die Enden dieser Röhren sind offen, verjüngt und ein wenig aufgebogen, damit die Flüssigkeit nicht ausfliessen könne. Unterhalb ist die Kugel

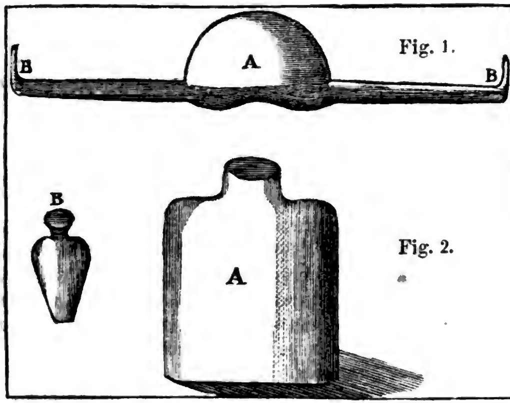


Abbildung der Instrumente zur Bestimmung des specifischen Gewichtes von Flüssigkeiten.

etwas abgeplattet worden, damit man sie besser auf die Waage setzen könne.

Das Fläschchen *A* (Fig. 2) aus sehr feinem Glase an der Lampe geblasen, mit einem hinreichend langen Halse versehen, dessen Oeffnung möglichst genau mit dem inwendig hohlen Stöpsel *B* verschlossen wird.

[117] Mit diesem Fläschchen können gleichfalls specifische Gewichte von Salzen bestimmt werden und zwar folgendermaassen. Das Fläschchen wird zuerst mit einer passenden Flüssigkeit gefüllt (in welcher nämlich das zu untersuchende

*) S. folg. Artikel, Seite 15.

Salz sich nicht löst) und nachdem man das Gewicht der Flüssigkeit bestimmt hat, wird die letztere wieder ausgegossen, das Gefäss aber gut getrocknet. Darauf füllt man das Gefäss mit Salz, fast ganz voll, an und bestimmt das Gewicht dieses Salzes; dann füllt man die Zwischenräume mit der Flüssigkeit aus und bestimmt den hierdurch entstandenen Zuwachs an Gewicht. Zieht man dieses Gewicht vom ganzen Flüssigkeitsgewichte ab, so wird der Rest das Gewicht der von dem Salz verdrängten Flüssigkeit angeben.

Die neutrale Pottasche braust nicht in Salpetersäure auf. Quecksilber in Salpetersäure aufgelöst wird mit weisser Farbe niedergeschlagen. Ueber Kohlen gesetzt, zerknistert es und zerstiebt in kleinen Stücken. Salpeter im Tiegel über dem Feuer wird geschmolzen und von aller Feuchtigkeit befreit, wobei vorhandene Lufträume mit Salpeter angefüllt werden.

Die specifischen Gewichte der mit einem Asterisk versehenen Flüssigkeiten sind durch Rechnung auf 48 Grad meiner Thermometer reducirt, und von einigen war schon bei meinen Versuchen über Siedepunkte die Rede.

Das einfachste Verfahren zur Bestimmung der Differenz der specifischen Gewichte in Folge verschiedener Temperaturen besteht darin, dass man zuerst die weniger warme Flüssigkeit ins Gefäss bringt (deren Temperatur indessen mit dem Thermometer gemessen werden muss) und das Gewicht bestimmt, darauf füllt man es wieder mit der wärmeren Flüssigkeit und wägt wieder. Hat man auch diesesmal die Temperatur beobachtet, so erhält man die Differenz der specifischen Gewichte, die die Wärme zwischen jenen Graden bewirkt hat, und kann dann leicht durch Rechnung für jeden Grad die Bestimmung ausführen.

[118] Die Versuche wurden in der Luft angestellt: mithin muss jeder Zahl das Gewicht der Luft hinzugefügt werden, wenn man die Schwere der Substanzen im leeren Raum haben will. Aber das specifische Gewicht der Luft im Vergleich zum Wasser ist nahezu 1 : 1000, wie solches den Naturforschern hinreichend bekannt ist.

IV.

Beschreibung und Gebrauch eines neuen Aräometers.

Von

Daniel Gabriel Fahrenheit.

Phil. Transact. London. Vol. XXXIII. 1724. S. 140—141.

[**140**] Es ist bekannt, dass man das specifische Gewicht der Flüssigkeiten auf zwei Arten bestimmen kann, nämlich mittelst der Waage oder mittelst des Aräometers. Die Schwierigkeit beim ersteren Verfahren besteht darin, dass, da die Waage, nur wenn sie sehr genau construirt ist, benutzt werden darf und da sie nur auf wenigen Punkten ruht, sie sehr leicht im Laufe der Zeit verderben wird, daher die Experimente nicht mit der nöthigen Schärfe ausgeführt werden können. Genauere Aräometer dagegen, deren Construction bisher nicht bekannt war, leiden besonders an der einen Unbequemlichkeit, dass man nicht mit ein und demselben Instrumente die Gewichte aller Flüssigkeiten bestimmen kann, so dass, wenn man die letzteren wechselt, man auch ein anderes Aräometer anwenden muss. Auf Grund dieser Ueberlegungen erwog ich den Gebrauch des Aräometers und bemerkte, dass die erwähnten Schwierigkeiten durch Construction des folgenden Instrumentes gehoben werden können.

Der ziemlich grossen Kugel *A* (je grösser, um so besser), werden nach entgegengesetzten Seiten zwei Röhren angeschmelzt *CD* und *EF*, der sehr feinen Röhre *EF* wird eine Schale aufgesetzt und mitten auf der Röhre der Punkt *a* sehr zart, aber deutlich vermerkt. Das andere Ende der Röhre *CD* ist mit einer Kugel *B* versehen und dient als Gefäss für das untere Gewicht (denn das Instrument muss beschwert werden). Die Entfernung der Kugel vom Mittelpunkte der Kugel *A* ist drei mal so gross, wie die Entfernung der Schale *G* von demselben Centrum. Nachdem das Instrument so hergerichtet, wird die

Kugel *B* mit soviel Quecksilber angefüllt, dass, wenn das Aräometer in sehr leichte Flüssigkeiten, wie z. B. [141] rectificirten Weingeist oder Terpentinspiritus getaucht wird, es in derselben fast genau bis *a* eintaucht; ist solches gelungen, so wird die Röhre nahe bei *E* hermetisch zugeschmolzen und das Instrument auf einer genauen Waage gewogen; und dieses Gewicht des Instrumentes wird zugleich das Gewicht der vom Instrument verdrängten Flüssigkeit sein, wie jedem mit der Hydrostatik Bewanderten wohlbekannt ist. Wenn aber schwerere Flüssigkeiten zu untersuchen sind, wie z. B. Wasser, Laugen oder Säuren, so findet man die Unterschiede ihrer Gewichte, indem man auf der Schale *G* mit solchem Gewicht das Instrument beschwert, dass es wieder bis *a* eintaucht. Nach Hinzufügung dieses Gewichtes zu dem des Instrumentes wird man die specifischen Gewichte jener Flüssigkeiten hinreichend genau erhalten: und ähnlich mit anderen.

Ich sagte, das Instrument tauche in den erwähnten Experimenten fast bis zum Punkte *a*; denn es ist besser, wenn die Flüssigkeit nicht vollkommen denselben erreicht, sondern erst nach Hinzufügung ganz kleiner Gewichtsstückchen; denn wenn man etwas leichtere Flüssigkeiten prüfen wollte, oder wenn durch die Wärme das specifische Gewicht verringert würde, wird man dennoch das Instrument gebrauchen können, was sonst nicht gelänge, wenn im Alkohol es genau bis *a* eintauchte.

Während der Versuche sorge man dafür, dass die Oberfläche sowohl des Instrumentes als auch der Flüssigkeiten nicht mit irgend welchem Fett oder anderen heterogenen Theilchen überzogen sei; sonst werden die Versuche niemals genau genug ausfallen; wie mit Recht ein sehr scharfsinniger Herr, Mitglied dieser berühmten Societät, bei der Unterhaltung über das Instrument betonte.



Fig. 3.

V.

Beschreibung eines neuen Barometers (Hypsobarometer).

Von

Daniel Gabriel Fahrenheit.

Phil. Transact. London. Tom. XXXIII. 1724. S. 179, 180.

---

[179] In dem Bericht über meine den Siedepunkt einiger Flüssigkeiten betreffenden Versuche habe ich erwähnt, dass an dem damaligen Termine der Siedepunkt des Wassers 212 Grad betragen habe[4]); später habe ich durch verschiedene Beobachtungen und Versuche erkannt, dass dieser Punkt, der bei derselben Schwere der Atmosphäre derselbe bleibt, fest sei, aber dass bei veränderter Schwere der Atmosphäre derselbe in verschiedenem Sinne sich ändern könne. Die zu diesem Zwecke angestellten Versuche könnte ich jetzt schon mittheilen, aber weil ich noch über einige Verhältnisse mich zu unterrichten wünsche, werde ich die Beschreibung derselben vorläufig verschieben und einstweilen nur einer Eigenschaft des Thermometers Erwähnung thun, welche, wenn nicht mehr, so doch mindestens ebenso gut uns die Schwere der Atmosphäre bestimmen lässt, wie das Barometer. Beistehende Figur diene zur Erklärung. Auf den Cylinder AB folgt die Röhre BC, darauf die längliche Kugel CD, der eine Röhre DE aufgesetzt ist, mit einer sehr feinen Oeffnung

an der Spitze. Der Cylinder wird mit einer Flüssigkeit angefüllt, die den Siedepunkt des Wassers vertragen kann. In der Röhre *BC* wird die Temperatur der Luft mittelst der Scala *bc* gemessen. Setzt man aber dieses Thermometer dem siedenden Wasser aus, so wird die Flüssigkeit des Thermometers nicht bloss die Kugel *CD* ausfüllen, sondern noch bis zu verschiedenen Graden der Strecke *DE* ansteigen, je nach der Temperatur, die das Wasser zur Zeit des Versuches in Folge der Schwere der Atmosphäre annimmt. Wenn z. B. zur Zeit des Versuches die Quecksilberhöhe im Barometer 28 Londoner Zoll beträgt, wird die Flüssigkeit in diesem Thermometer [180] die unterste Stelle in *DE* einnehmen; wenn aber die Schwere der Atmosphäre das Gleichgewicht hält einer Quecksilberhöhe von 31 Zoll, wird die Flüssigkeit durch die Wärme des siedenden Wassers bis zum äussersten Ende von *DE* reichen; die verschiedenen Stände beim siedenden Wasser braucht man nicht mit Graden zu bezeichnen, sondern man kann statt dessen die Anzahl der Zolle vermerken, mit welchen gewöhnlich die Quecksilberhöhe in Barometern gemessen wird, und in dieser Weise die Scala *de* theilen.

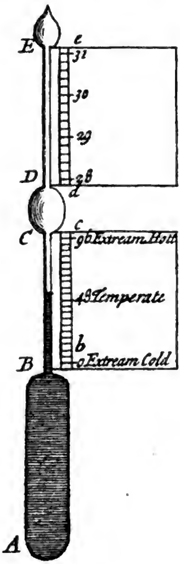


Fig. 4.

[452] I.

Regeln zur Construction von Thermometern mit vergleichbaren Scalen,

die eine Vorstellung von der Kälte und der Wärme geben, die auf bekannte Maasse bezogen werden können.

Von

René Antoine Ferchault de Réaumur.

(Hist. et Mém. de l'Acad. de Paris, année 1730.)

Die Thermometer sind ohne Widerrede eine der hübschesten Erfindungen der modernen Physik, welche zugleich am meisten zu deren Fortschritten beigetragen haben. Sie haben uns eine grosse Zahl interessanter Kenntnisse vermittelt, die ohne ihre Hilfe nicht erreichbar erschienen. In wie viel Fällen hätten wir ohne Thermometer erfahren können, dass mit einander zusammengemischte Flüssigkeiten sich erwärmen? Ohne Thermometer hätten wir niemals entdeckt, dass beim Auflösen gewisser Salze eine Abkühlung eintritt, und bei welchen Salzen solches am stärksten geschicht. Wir wüssten auch nicht, dass ein Eisstück kälter sein kann als ein anderes. Wir wüssten ebensowenig, dass siedendes Wasser eine Temperatur hat, über welche hinaus das Wasser nicht erwärmt werden kann. Alle Physiker wissen, dass zahllose Experimente mit dem Thermometer in der Hand angestellt werden müssen. Und nicht sie allein bedürfen dieses Instrumentes; es ist nicht auf ihre Laboratorien beschränkt geblieben; man liebt es sehr, das Thermometer zu beobachten, um die Temperatur der Luft zu erfahren; namentlich wenn die Kälte oder die Wärme unbequem wird, beachtet man das Instrument: während des strengen

Winterfrostes, während der versengenden Sommerhitze spricht man in der gewöhnlichen Unterhaltung von den Graden, [**453**] die das Thermometer in dem einen oder anderen Sinne erreicht hat.

Weiss man einerseits, wie amüsant und nützlich dieses Instrument ist, so kennt man andrerseits seine Unvollkommenheit. Der Gang fast aller Thermometer ist verschieden; obwohl derselben Luft ausgesetzt, steigt die Flüssigkeit in dem einen höher oder sie sinkt niedriger, als im anderen, obwohl dieselbe Zunahme oder Abnahme der Wärme angezeigt werden soll. Der Wechsel der Temperatur, der auf diesem Thermometer 4 oder 5 Grad beträgt, zeigt auf jenem 7 bis 8, oder auch 2 bis 3, oder irgend eine andere Anzahl; und man weiss nichts von dem Verhältniss zwischen den Graden der verschiedenen Thermometer. Da sie sämmtlich, so zu sagen, Verschiedenes aussagen, so versteht man schliesslich nur das Thermometer, das man mehrere Jahre lang selbst verfolgt hat, jedes andere bleibt unverständlich. Auch haben die Thermometer bisher noch fast gar nicht zur Kenntniss der grössten Kälte und grössten Wärme verschiedener Klimate gedient, Fragen von grossem Nutzen und hohem Interesse. Wir möchten doch gerne wissen, welchen Kälte- oder Wärmegrad Menschen wie wir ertragen können. Auch wäre es wichtig, zu erfahren, welcher Temperaturen Pflanzen und Bäume zu ihrem Wachsthum bedürfen, die, wenn sie nicht bei uns einheimisch sind, sich akklimatisiren könnten.

Aber nicht allein ist die Sprache der verschiedenen Thermometer unverständlich, ein jeder fasst auch die Angabe des eigenen Instrumentes höchst unsicher auf. Man kennt die Stellen grösster Wärme und grösster Kälte, man weiss, wieviel Grad dazwischen liegen, aber weder giebt der einzelne Zwischengrad, noch die ganze Strecke ein wirkliches Maass ab.

Die Ursachen der Mängel der Thermometer sind nicht minder bekannt, als die Mängel selbst; [**454**] es wäre unnütz, sie hier zu erwähnen, wenn es nicht darauf ankäme, zu beurtheilen, ob die Hilfsmittel, zu denen ich greifen zu müssen glaubte, allen Erwartungen entsprächen.

Thermometer sind Instrumente der Physiker, und Physiker haben ein Interesse an der Vervollkommnung gehabt; sie haben sich damit abgegeben, sie haben verschiedene Formen ersonnen; sie haben verschiedene Flüssigkeiten erprobt. Für gewöhnlich nahm man Weingeist. In mehreren Thermometern

hat man Luft wirken lassen; in einigen hat die sich ausdehnende Luft den Weingeist vor sich hergetrieben, in anderen Quecksilber.

Wir wollen hier nicht alle bisher ersonnenen Thermometer erklären, das wäre eine recht grosse Arbeit; wir gebrauchen gegenwärtig nur eine sehr einfache Construction, und zwar eine der ältesten, die auch am meisten verwandt worden ist, ich meine das sogenannte Florentiner Thermometer, das man täglich überall sieht. Es besteht aus einer hohlen, am oberen Ende hermetisch verschlossenen Glaskugel, die an eine lange Glasröhre angeschmelzt ist. Bekanntlich sind die Kugel und ein Theil der Glasröhre mit rothgefärbtem Weingeist gefüllt; nimmt die Wärme in der Umgebung der Glaskugel zu, so dehnt sich der in derselben befindliche Weingeist aus und erhebt sich in der Glasröhre, während dieselbe Flüssigkeit sich zusammenzieht, wenn sie Wärme verliert.

Die Glasröhre ist an einer dünnen Platte befestigt, auf welcher man ein mit Graden bedrucktes Papier angebracht hat. Das auf gleiche Weise bedruckte Papier dient für verschiedene Thermometer, als ob deren Gradbetrag derselbe wäre.

Aus dieser Construction folgt, — und man weiss das sehr wohl — dass, wenn eine Temperaturänderung in der Luft eintritt, in verschiedenen Thermometern verschiedene Grade durchlaufen werden, [**455**] sowohl beim An- als Absteigen, je nach dem Verhältniss des Durchmessers der Kugel zu dem der Röhre. Hieraus erhellt, dass einige Thermometer wenig empfindlich sind, andere dagegen zu sehr; aus Mangel an Raum für die Flüssigkeit sind zuweilen die Röhre oder die Kugel zerbrochen durch den Druck der sich ausdehnenden Flüssigkeit; in einigen Thermometern versinkt zuweilen die Flüssigkeit ganz in die Kugel hinein, ehe noch eine strenge Kälte eingetreten war. Dass es unter solchen Umständen unmöglich ist, Thermometer mit proportionalem Gange zu finden, leuchtet ein, denn es ist unmöglich, zwei ganz gleiche Kugeln von gleichem Durchmesser und gleicher Rundung zu erhalten; denn solche Kugeln sind stets unvollkommen. Röhren von bestimmtem Durchmesser herzustellen, ist nicht minder schwer. Dieselben sind zudem meist an einem Ende dicker als am anderen, und zwar ziemlich beträchtlich; ihr Inneres hat oft Ungleichheiten, die man von aussen nicht erkennen kann. Alles dieses hat schlimmere Folgen, als man

glauben möchte; ich habe durch genaues Messen gefunden, dass zwei Stücke ein und derselben Glasröhre von gleicher Länge in gleiche Grade getheilt zu Thermometern verwandt, so ungleich waren, dass das eine Stück fast das Doppelte von der Flüssigkeit des anderen aufnahm.

Nehmen wir aber an, dass abgesehen von diesen unüberwindlichen Schwierigkeiten man den Kugeln Röhren angefügt hätte von bestimmtem Verhältniss der beiden Durchmesser; man wird doch noch nicht Thermometer von gleichem oder proportionalem Gange haben, d. h. solche, die bei gleichen Temperaturänderungen der Luft dieselbe Gradanzahl geben. Es giebt noch eine Quelle von Verschiedenheiten, auf welche man nicht genug geachtet hat, wenigstens ist mir kein Hülfsmittel dagegen bekannt geworden. Ich meine die Qualität des Weingeistes, mit dem die Thermometerkugel angefüllt wird. [**456**] Die Flüssigkeiten dehnen sich durchaus nicht gleichmässig aus bei gleicher Erwärmung. Man weiss das sehr wohl und man hat absichtlich den Weingeist gewählt, weil er gegen Kälte und Wärme am empfindlichsten reagirt, abgesehen von Luft. Weingeist dehnt sich weit stärker aus als Wasser. Der rectificirteste Weingeist ist doch nur ein Gemisch einer brennbaren Substanz, eines essentiellen oder ätherischen Oeles mit Wasser; Wasser macht den grössten Theil (la meilleure portion) des Gemenges aus. Die starke Ausdehnbarkeit des Weingeistes (wenn ich mich kurz so ausdrücken darf, was in der Folge von Nutzen sein wird) ist also dem in ihm enthaltenen ätherischen Oele zuzuschreiben; je mehr davon im Weingeist enthalten ist, um so stärker wird er sich ausdehnen; d. h. der am besten rectificirte Weingeist wird sich mehr ausdehnen bei derselben Erwärmung. In zwei sonst ganz gleichen Thermometern, die aber mit Weingeist verschiedener Qualität gefüllt sind, wird die Flüssigkeit weder auf noch ab sich gleich verhalten; sie werden die Aenderungen der Kälte und Wärme verschieden anzeigen. Nun hat man bis jetzt die Thermometer nicht mit Weingeist bestimmter und bekannter Qualität gefüllt, sondern das zufällig erhaltene benutzt. Die Verfertiger der gewöhnlichen Thermometer begnügen sich meist mit einem schwachen Weingeist.

Herr *Amontons* ist, als er von der Verdünnung des Weingeistes sprach, nicht so exact gewesen, wie es sonst seine Gewohnheit war; er spricht so, als wenn alle Gattungen Weingeist dieselben Verdünnungen geben, und er ist nicht der

einzige Physiker, der so vorgeht. Es ist aber wesentlich, wenn man die Kälte- und Wärmegrade vergleichbar erhalten will auf verschiedenen Thermometern, dass sie mit derselben Flüssigkeit gefüllt seien oder mit zwei Flüssigkeiten, deren Ausdehnungsverhältnisse bekannt sind; [457] das aber hat man nie zu bestimmen versucht, und das ist es, was wir in dieser Abhandlung auszuführen versuchen werden. Man wird sehen, dass diese Fehlerquelle die Anzahl der Grade eines Thermometers fast doppelt so gross erscheinen lassen kann, als bei einem anderen, welches derselben Luft ausgesetzt wird.

Dieser Uebelstand ist vielleicht nicht minder gross bei den Thermometern, in welchen der Gang durch die eingeschlossene Luft bedingt wird, im Vergleich zu denen mit Weingeist oder irgend anderen Flüssigkeiten. Hat man wohl überlegt, und ist man berechtigt anzunehmen, dass die Luft in verschiedenen Jahreszeiten und in verschiedenen Ländern, selbst bei gleicher Temperatur aufgefangen, sich ganz gleich ausdehne? Die Luft ist keineswegs eine reine Flüssigkeit. In ein und demselben Luftvolumen ist mehr oder weniger Luft vorhanden, je nachdem dieselbe mehr oder weniger Exhalationen oder Dämpfe enthält, die der Luft beigemengt sind und die in hohem Grade die Tendenz zur Verdünnung verändern können.

Endlich, selbst dann, wenn man eine Flüssigkeit verwendet, deren Ausdehnbarkeit bekannt ist, hat man noch nicht Alles erreicht; die Flüssigkeiten haben kein beständiges Volumen, ebenso wenig wie die festen Körper, aber letztere zeigen keine so starken und plötzlichen Veränderungen wie gewisse Flüssigkeiten; sie gehen stetig von einem Grade der Ausdehnung zu einem anderen über und kehren wieder zu der Verdichtung zurück, je nach der Luft, die auf dieselben wirkt. Nun gilt es innerhalb der Grenzen der Ausdehnung und Verdichtung der Flüssigkeit, die man im Thermometer verwenden will, eine solche Temperatur zu finden, die man in allen Ländern herstellen kann und die einen Punkt abgiebt, von dem aus die Zählung der Grade beginnt oder aufhört. Die schöne Eigenschaft des Wassers, die Herr *Amontons* entdeckt hat, dass dasselbe nicht über die Siedetemperatur erhitzt werden kann, giebt einen solchen festen Punkt, d. h. einen Grad der Ausdehnung, den man überall haben kann und der überall derselbe ist[1]. Auch hat er diese Eigenschaft des Wassers benutzt zur Construction von Thermometern, die in allen Ländern gleiche Angaben zeigen. [458] Er ist mit grossem

Geschick vorgegangen, er hat Luft angewendet, die mit Quecksilber abgeschlossen war; im siedenden Wasser hat er diese Luft ausgedehnt, die bei ihrer Erwärmung das Quecksilber erhob bis zu dem festen Punkte des Herrn *Amontons*. Mittelst dieser Luft-Quecksilber-Thermometer hat er andere, mit Weingeist gefüllte, verglichen und graduirt. Aber die Verschiedenheiten der Luft, je nach dem Wetter, der Jahreszeit, dem Lande, gestatten kaum anzunehmen, dass diese erstgenannten Thermometer geeignet seien, das erhoffte Ziel zu erreichen. Wenn diejenigen, welche Herrn *Amontons'* Versuche über die Ausdehnung der Luft bei verschiedener Belastung haben wiederholen wollen, andere Resultate gefunden haben, als dieser so exact arbeitende Akademiker, so ist vielleicht nur die eingeschlossene anders beschaffene Luft daran schuld. Uebrigens ist der genannte Uebelstand keinesweges der einzige, der da verhindert, dass dieses Thermometer den geistvollen Erwartungen des Erfinders entspreche. Der mittlere Zustand der Luft, den er voraussetzt, und den er sehr oberflächlich bestimmt, die Schwierigkeit, Kugeln und Röhren von gleicher Capacität zu beschaffen, eine praktisch schwer zu überwindende Schwierigkeit; ferner die Vermehrung des Luftvolumens, die die Spannkraft derselben vermindert und die Wirkung nicht so erscheinen lässt, wie man es nach der Ursache erwarten müsste und deren Maass sie sein sollte; kurzum, viele Schwierigkeiten, die genau hervorzuheben weitläufig wäre, wie z. B. die verschiedenen Reductionen in Folge des variablen Atmosphärendruckes, alles dieses lässt jenes Thermometer nicht ein so präcises Instrument sein, als man es zu haben wünscht. Auch hat kürzlich ein italienischer Schriftsteller behauptet, und zu beweisen versucht, dass *Amontons'* Thermometer noch schlechter sei, als das von *Florenz*; das scheint nun starke Uebertreibung zu sein, obwohl es wahr ist, dass das alte im Gebrauch vorzuziehen wäre, aber doch nur weil jenes sehr schwer zu construiren ist.

Ich habe sehr eifrig nachgedacht über das ingeniöse Verfahren *Amontons'*. [459] Alles was ich vorzuschlagen habe, ist äusserst einfach, und ich glaube, dass meine Methode uns Thermometer geben wird, die verständlich sein werden und zwar in allen Ländern. Zuvörderst beschreibe ich meinen Grundgedanken und werde dann über die praktische Ausführung berichten.

Ich benutze eine sehr ausdehnbare Flüssigkeit, nämlich Weingeist; da es aber zahllose Sorten giebt, so wähle ich

eine solche, die man zu jeder Zeit und in jedem Lande haben kann. Ich stelle die Eigenschaften dieser Art Weingeist fest, so dass keine Verwechslung mit anderen möglich ist und eine vorhandene Abweichung bestimmt werden könne.

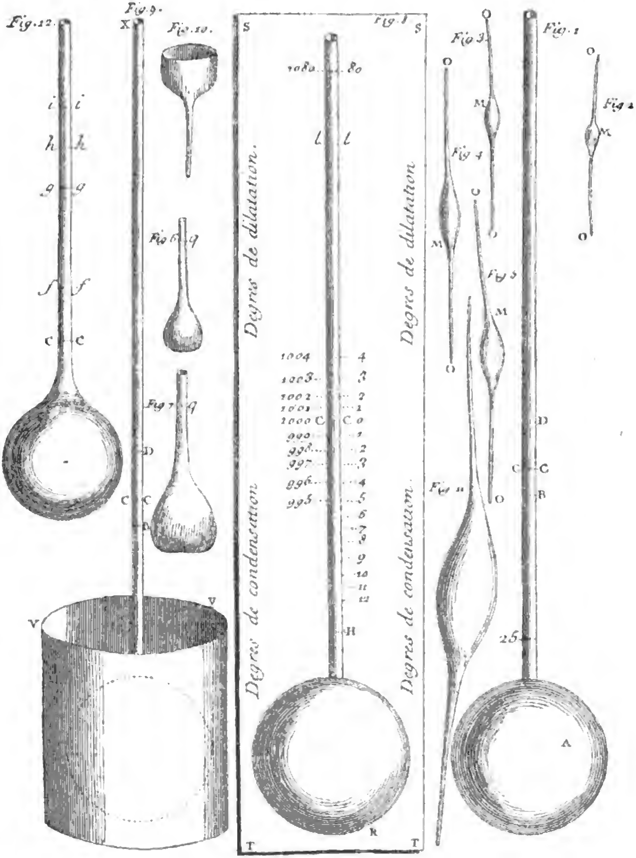
Ich bringe den gewählten Weingeist auf ein bestimmtes Volum im Gebiete seiner Ausdehnbarkeit. Das könnte unter einigen später zu besprechenden Vorsichtsmaassregeln geschehen mit Hülfe der Siedetemperatur des Wassers, doch ziehe ich das künstliche Gefrieren des Wassers vor, d. h. des Wassers, das man künstlich erstarren lässt; Herr *Amontons* hat dasselbe gethan. Der Grad der Ausdehnung oder Contraction, den der Weingeist durch dieses Eis annimmt, kann als fester Punkt angesehen werden und ist geeignet, in fast allen Ländern der Welt hergestellt zu werden, wo man nur Thermometer anwenden mag. Obwohl es im Winter Eis giebt, welches kälter ist als anderes Eis, so ist es doch ebenso leicht, sowohl durch klare Ueberlegung wie durch Versuche festzustellen, dass die Temperatur des künstlichen Eises, der Beginn des Erstarrens des Wassers ein fester beständiger Punkt sei, gerade so, wie wir ihn brauchen.

Wenn der Weingeist wohl bestimmt und auf ein solches Volumen gebracht ist, welches einem festen Temperaturpunkte entspricht, so erübrigt noch alle verschiedenen Thermometer so zu graduiren, dass ihr Gang derselbe oder ein proportionaler sei, trotz aller Unterschiede im Durchmesser der Kugeln und der Röhren, trotz der Unregelmässigkeiten der Kugeln und Glasröhren; sie so zu graduiren, dass [**460**] dieselben Grade auf verschiedenen Thermometern stets dieselben Maasse der Temperatur angeben; und dass diese Maasse einer gewissen Vorstellung entsprechen, denn den gewöhnlichen Thermometergraden entspricht keine solche. Die letzteren lassen mich zwar erkennen, dass die Flüssigkeit zwei oder drei Zoll gestiegen ist, aber wir erfahren nichts von der Volumänderung der Flüssigkeit während dieses Ansteigens von zwei bis drei Zoll. Wie mir scheint, hätte man Alles, was nur gewünscht werden kann, wenn jeder Grad eine präcise Vorstellung von dem Grade der Ausdehnung oder der Contraction der Flüssigkeit gäbe, denn die Wirkung der Erwärmung ist die Volumenvermehrung. Wie soll man besser die auf einander folgenden Wärmegrade messen, als durch die Grade der Ausdehnung der Flüssigkeit, die eine wirkliche Vorstellung von jenen giebt. Also: die Menge des im Thermometer verwandten

Weingeistes ist mir bekannt, ich kenne den Betrag gewisser Bestandtheile desselben; z. B. das Volumen der beim Gefrieren des Wassers verdichteten Flüssigkeiten sei 500 Theile; ein jeder dieser Theile betrage 10, 20 etc. Kubiklinien, wenn ich nur irgend ein Maass habe. Auf der Röhre merke ich den Stand dieser Flüssigkeit an, die 500 Theile im künstlichen Eise einnimmt (Fig. 1 *CC*); ober- und unterhalb werden die Grade bezeichnet. Aber anstatt für jeden Grad gleich lange Stücke der Röhre zu nehmen, wie solches bei gewöhnlichen Thermometern geschieht, bestimme ich einen jeden Grad so, dass er eine Strecke in der Röhre andeutet, die einem jener Theile entspricht, mit welchem die Flüssigkeitsmenge gemessen war. In unserem Falle z. B., wo wir 500 Theile hatten, wird jeder Grad $^1/_{500}$ dieses Volumens betragen, und in solche Theile, in solche Grade wird die ganze Röhre getheilt. Setzen wir solche Thermometer den veränderten Temperaturen der Luft aus, so werden die Aenderungen des Standes verständlich sein und uns [**461**] bestimmte Vorstellungen geben, statt der vagen Ideen der anderen Thermometer. Erhebt sich die Flüssigkeit um 1, 2, 3 oder wenn man will um 20 Grad über die Marke, so wird das anzeigen, dass das Volumen, welches anfangs 500 war, jetzt 501, 502, 503 oder wenn man will 520 geworden ist. Weiss ich, dass die Flüssigkeit sich um 20 Theile erhoben hat, so weiss ich auch, dass ihr Volumen sich um $^{20}/_{500}$ oder $^1/_{25}$ vermehrt hat. Hat dagegen die Kälte ein Herabsteigen um 10 Grad unter den markirten Punkt hervorgebracht, so weiss ich, dass die Kälte die Flüssigkeit verdichtet und das Volumen um $^1/_{50}$ vermindert hat. In ihrem ganzen Gange werden die Thermometer präcise Aenderungen anzeigen, die in bekannter Grösse eine bekannte Flüssigkeit erfahren hat. Man wird alsdann sich wohl verstehen, wenn man die Grade des Thermometers in einer Jahreszeit mit denen einer anderen vergleicht; ferner werden auch die Beobachtungen verschiedener nach diesen Grundsätzen verfertigter Thermometer in verschiedenen Ländern verständlich.

Mir scheint, man kann von Thermometern nicht mehr verlangen, als die eben erläuterte Construction darbietet; indess mag es schwierig erscheinen, die letztere auszuführen und den Instrumenten die Eintheilung zu geben, deren Vortheile soeben erklärt wurden. Das Mittel indessen, das gesteckte Ziel zu erreichen, ist sehr einfach oder vielmehr recht

grob (très-grossier). Freilich wenn man durchaus so kleine Thermometer, wie sie bisher im Gebrauche waren, haben will,



so wird es kaum möglich sein, die Röhren genau zu graduiren, so dass die Theile genaue Bruchtheile der eingeschlossenen Flüssigkeit einnehmen. Aber weshalb hat man bisher stets

so kleine Instrumente verfertigt? Es scheint blos deshalb, weil man stets dabei geblieben ist, sie so einzurichten, wie die ersten waren. *Sanctorius,* ihr Erfinder, wollte, dass seine Kranken die Kugeln bequem in der Hand halten könnten. Mit den Thermometern ist es gegangen, wie es mit den Uhren auch geschehen wäre, wenn man zuerst kleine Uhren verfertigt und wenn man nur versucht hätte, blos ganz kleine Uhren zu vervollkommnen; [**462**] man wäre niemals zu exacten Zeitmessungen gekommen, bis endlich jemand den Vorschlag gemacht hätte, ausser den Uhren, die man in der Tasche bequem trägt, auch solche zu bauen, die in den Zimmern blieben; wodurch man dann zu einer Präcision gelangt wäre, die von Taschenuhren nie erwartet werden konnte. Auch die Barometer sollten uns daran denken lassen, für die Thermometer weitere Röhren zu wählen, als gewöhnlich geschieht. Die gewöhnlichen Barometer taugen gar nichts, wenn sie aus fast capillaren Röhren gefertigt sind, ähnlich denen der meisten Thermometer.

Man wird ausgezeichnete Thermometer bekommen, wenn man Röhren genügender Dicke anwendet; sie werden genügend dick sein, wenn sie denen der dicken Barometer gleich kommen, d. h. solchen, die innen $2^1/_2$—3 Linien Durchmesser haben; man wird auch dünnere verwenden können, aber die Construction wird besser ausfallen, wenn man die Durchmesser noch grösser nimmt, bis etwa $3^1/_2$ Linien, während auch die Kugeln verhältnissmässig vergrössert werden müssen[2]).

Freilich werden Kugeln und Röhren der geforderten Grösse nicht so niedliche Instrumente liefern, wie die gewöhnlichen Thermometer es sind. Wenn Astronomen nur niedliche Quartanten gebrauchen wollten, so müssten sie auf genaues Messen Verzicht leisten. Wenn übrigens die neuen Thermometer nur den Spielraum der alten haben sollen, d. h. wenn man den Stand derselben im kochenden Wasser nicht haben will, so wird die Länge der neuen Röhren nur wenig die der gewöhnlichen übertreffen; die Dicke der Kugeln wird weder unförmlich noch lästig erscheinen; ein dickes Rohr ist keineswegs unangenehm; denn während die Capacität gleich langer Röhren proportional dem Quadrate der Durchmesser wächst, nimmt die der Kugeln mit dem Cubus der Durchmesser zu. Kugeln von $4^1/_2$ Zoll Durchmesser [**463**] an Röhren von nahe 3 Linien Durchmesser werden genügen für gute empfindliche Thermometer.

In der Ueberzeugung, dass man sich leicht über die Kleinheit der Thermometer hinwegsetzen wird, um bessere zu erhalten, will ich nun beschreiben, wie unsere grossen Thermometer gefüllt und graduirt werden müssen. Die Versuche, die über das Verfahren angestellt worden sind, haben mich überzeugt, dass in praxi die Ausführung bequemer und weniger langwierig ist, als es in der Beschreibung derselben den Anschein hat. Ich nehme an, wir hätten eine Kugel von passendem Durchmesser an eine genügend dicke Röhre angeschmelzt (Fig 1, *A*). Alle Glashütten liefern solche Röhren; bequem gelegen ist die zu Sève, sie führt alle Bestellungen dieser Art aus, und auch ich habe mich dahin gewandt.

Da das Thermometer mit dem Maassgefäss in der Hand construirt wird, so muss man vor Allem sich verschiedene Maassgefässe besorgen. Man braucht deren sehr kleine, um die kleinsten Bruchtheile der angewandten Flüssigkeit zu bestimmen; sie dienen zur Ermittelung jeder einzelnen Gradstrecke der Röhre. Man braucht auch grosse, die 25, andere, die 50 bis 100 jener Theile fassen. Mit Hülfe dieser grossen wird das Verfahren abgekürzt. Jedes der kleinen Maasse enthält nur soviel Flüssigkeit, dass letztere 2, 3 oder 4 Linien Höhe in der Röhre einnimmt. Alles dieses ist unwesentlich und bezweckt nur, dass ein jeder Grad gleichviel beträgt und keine Aenderung im Gange der Thermometer bedingt und in demselben Verhältniss stehe bei allen zu fertigenden Thermometern.

Die Form der Maassgefässe ist aber wesentlich, ich habe eine den Physikern wohlbekannte Form gewählt. Sie ist aus einer kleinen Glasröhre geblasen (Fig. 2, 3, 4, 5), die in der Mitte [**464**] ein wenig angeschwollen ist in Gestalt einer Olive, von deren Enden sehr zarte Röhrchen ausgezogen wurden, die durchaus capillar sind (*O O*). In einem Worte die ausmündenden Röhrchen sind so dünn, dass ein Tropfen in denselben mehr als ein Zoll lang wäre. Ihre Länge ist beliebig, 15 bis 16 Linien genügen für jedes dieser Röhrchen, auch könnte ein jedes 2 Zoll lang sein. Es giebt zwei Arten dieselben zu füllen, beide gleich gut. Nach der einen steckt man das eine Ende in die Flüssigkeit und saugt am andern mit dem Munde, bis die Flüssigkeit die Zunge benetzt; nach der andern steckt man das Maassgläschen in die Flüssigkeit bis über die angeschwollene Stelle; alsobald wird die Flüssigkeit in den capillaren Theil emporsteigen. Man verschliesst das obere

Ende mit dem Finger oder noch sicherer mit der Zunge, hebt so das Maass voll Flüssigkeit empor, ohne dass ein Tröpfchen der aufgenommenen Menge ausflösse. Mit diesem Gläschen fülle ich grössere Maassgefässe an; letztere bestehen aus Glaskugeln verschiedenen Durchmessers, die mit Röhren von 4—5 Zoll Länge versehen sind (Fig. 6 und 7). Es ist sehr wesentlich, dass diese grossen Maasse sehr genau seien; man bezeichnet mit einem Faden die Stelle der Röhre, bis zu welcher sie gefüllt sein müssen. Jedes Maassgefäss wird wenigstens 2—3 mal ausgemessen. Diese Mühe wird belohnt durch die Freude an der Genauigkeit des Verfahrens.

Hat man einmal grosse und kleine Maasse, so kann man ziemlich schnell die Thermometer graduiren, welches auch die Capacität der Kugel und der Röhre sei. Wollen wir eines graduiren. Das Verfahren bei diesem einen ist dasselbe bei allen anderen. Zuvörderst bemerken wir, dass man den Weingeist nicht eher einführt, als bis die Grade verzeichnet sind. Ich nehme an, wir haben eine Kugel mit ihrem Rohre, die zusammen bald ein Thermometer bilden sollen. [**465**] Man bezeichnet auf dem Rohre die Stelle, wo man die Flüssigkeit beim Gefrieren des Wassers einstehen lassen will, und zwar mit einem sehr feinen Faden, den man um die Röhre festknotet (Fig. 1, *B*).

Diese Stelle des Gefrierpunktes des Wassers kann ziemlich willkürlich auf einer ziemlich grossen Strecke der Röhre gewählt werden; nur muss sie etwa halb so nahe nach der Kugel hin, als nach dem oberen Ende der Röhre liegen. Wäre diese Entfernung bis zur Kugel nur ein Drittel oder ein Viertel der andern, so würde das häufig auch wenig schaden.

Jetzt giesse ich in die Röhre 100 oder mehr Theile ein, bis die Kugel angefüllt ist und die Flüssigkeit sich bis zur Marke erhebt. Eine Schwierigkeit scheint der Umstand zu bieten, dass die Flüssigkeit bei der Marke ein volles Hundert, 500 oder 800 oder 1000 betragen müsse, was doch nur selten eintreten kann. In der Mehrzahl der Fälle wird die Flüssigkeit unter- oder oberhalb der Marke einstehen; alsdann braucht man nur den Faden der Marke zu senken oder zu heben, bis er auf der Flüssigkeit einsteht (Fig. 1, *CC*). In vielen anderen Fällen wird das letzte 100 kaum reichen, um die Kugel zu füllen (Fig. 8, *H*), und wollte man jetzt 100 hinzugiessen, so würden diese zu hoch stehen. Ich habe mir dann sehr einfach geholfen: anstatt jetzt weniger als 100 zu giessen,

wodurch Zahlen entstünden, die beim Vergleich verschiedener Thermometer unbequem wären, schütte ich in die Kugel kleine, schwere Körper hinein, wie groben Grand oder Glasstückchen. Bleischrot wäre das bequemste, wenn nicht ein sogleich zu erörternder Umstand anderes Material nöthig machte. Diese festen Körper, welches sie auch seien, fallen in die Kugel (Fig. 8, *R*); [466] hier nehmen sie einen Raum ein, den vorher Flüssigkeit inne hatte; die Flüssigkeit steigt in der Röhre an; nachgeschüttete Körner lassen dieselbe an der gewünschten Stelle einstehen (Fig. 8, *C C*). Die Körner bewirken dasselbe, wie wenn man im Stande wäre, die Capacität der Kugeln zu vermindern. Da ein jedes derselben nur wenig Raum einnimmt und da ihre Ausdehnbarkeit äusserst gering ist im Vergleich zu dem des Weingeistes, sodass sie vernachlässigt werden kann, so werden sie in der Folge den Gang des Thermometers nicht merklich stören.

Die Flüssigkeit, mit der ich jene 100 Theile messe, ist Wasser. Ich graduire nicht mit Weingeist, dessen Volumen während der Messung anwachsen könnte. Versuche, die ich zuletzt anführen werde, beweisen, dass das Wasser während der zum Graduiren nöthigen Zeit nicht merklich sein Volumen verändert.

Mag das Instrument, mit dem wir uns jetzt abgeben wollen, 1000 Theile enthalten bis zur Gefrierpunktsmarke (Fig. 1, *C C*); oberhalb und unterhalb sollen die Grade bezeichnet werden. Die obere Strecke, die ich die der »Ausdehnungsgrade« (»degrés de dilatation«) nenne, soll mindestens das Doppelte der unteren betragen, die wir »Verdichtungsgrade« (degrés de condensation«) nennen. Die letzteren muss man zuerst bezeichnen. Will ich deren 25, 30 oder irgend eine andere Zahl haben, so giesse ich 25 oder 30 Theile aus dem Thermometer in ein Maassgefäss von 25 oder 30 ab, bis es voll ist. Jetzt fehlen ebenso viel in der Kugel.

Nachdem dieses bewerkstelligt ist, befestige ich das Thermometer mit Schnur oder feinem Messingdraht auf die für dasselbe bestimmte Platte, auf welche die Grade verzeichnet werden sollen. Ein weisses Papier zur Vermerkung der Striche wird aufgeklebt. Der erste Strich, den ich bezeichne, ist der des Gefrierpunktes des Wassers, genau [467] in der Höhe der Marke an der Röhre (Fig. 8, *C C*). Gegenüber bringe ich eben solch einen Strich an genau in der Höhe des Wasserniveaus (25. Fig. 1) und nun kann das Graduiren

beginnen. Ich fülle ein kleines Maassglas an und giesse es in die Röhre: wenn alles ausgeflossen ist, mache ich einen Strich bei dem neuen Niveau des Wassers. Man füllt wieder das Maassglas, entleert es nochmals in die Röhre und vermerkt wieder mit einem Strich den Stand des Wassers. Solches wiederholt man so oft, als die Zahl der Grade in der Röhre beträgt, die vermerkt werden soll.

Für die ersten Thermometer, die ich machen liess, wurde das kleine Maassgläschen für die Strecke eines Grades mit Wasser gefüllt, aber ich machte die Erfahrung, dass solch eine Gradation langwierig war und, was noch schlimmer ist, unsicher ausfiel. Eine kleine Menge Wasser in eine lange Röhre gegossen genügt kaum die Wände zu benetzen; sie fliesst langsam an den Wänden herab, an welchen sie adhärirt. Man ist stets unsicher, ob das ganze Wasserquantum herabgesunken ist; die ganze Masse der ersten Maasse thut es sicher nicht, ein Theil haftet stets an den Wänden. Ich dachte, dass, wenn ich statt Wasser Quecksilber nähme, ich alle diese Uebelstände vermeiden würde. Quecksilber haftet nicht am Glase und diese schwere Flüssigkeit sinkt sofort herab. Auch habe ich gesehen, dass in dieser Weise die Graduirung gut und schnell ausgeführt werden kann. Man vortheilt sehr durch Anstellung zweier Assistenten. Der eine füllt das Maassglas mit Quecksilber und schüttet letzteres in die Röhre aus. Sobald es in die Kugel gesunken ist, verdrängt und hebt es das Wasser bis zu der entsprechend gesuchten Höhe. In diesem Moment zieht der zweite Gehülfe einen Strich auf die Platte in der Höhe des Niveaus. Hundert Grad oder weniger, die zu vermerken sind, werden der Art in kurzer Zeit und sehr genau verzeichnet.

Wenn alle Striche gezogen sind, nimmt man das Thermometer von der Platte fort und verzeichnet nach Belieben den Werth jedes Striches je nach der Stelle, die er einnimmt, d. h. also den Gradwerth; [468] ich lasse sogar auf beiden Seiten Inschriften machen, jederseits verschiedener Art (Fig. 8). Einerseits schreibt man 0 beim grossen Strich des Gefrierpunktes. Der erste Strich unterhalb wird mit 1, der folgende mit 2 bezeichnet und so fort bis 25, in unserem Beispiele die letzte Marke; das sind die absteigenden Grade der Verdichtung. Oberhalb des Gefrierpunktes bezeichne ich auch den ersten Strich mit 1, den folgenden mit 2 u. s. f., das sind die Grade der Ausdehnung.

Auf der anderen Seite neben der Röhre notire ich an unserem Thermometer beim Gefrierpunkte 1000, weil das Volumen der Flüssigkeit bis zu diesem Striche 1000 Theile enthält. Ich würde 900, 800 notiren, wenn die Volumina 900, 800 betrügen. Der erste Strich unterhalb ist mit 999 bezeichnet, der folgende mit 998 u. s. f. die absteigenden Grade; der erste aufsteigende dagegen mit 1001, der folgende mit 1002 u. s. w. Dieser Art drücken die Grade einerseits den Betrag der Volumzunahme bei der Ausdehnung oder Verdichtung ober- oder unterhalb des künstlichen Gefrierpunktes aus, das sind die Zahlen 1, 2, 3, 4 u. s. w.; andererseits findet man die wahren Volumina der Flüssigkeit, die beim Gefrierpunkt 1000 Theile einnimmt. Dieses Volumen ist bald verdichtet auf 998 oder 995, bald ist es gewachsen auf 1002, 1020 u. s. w.

Wenn die Platte so graduirt ist, so ist der schwierigste Theil der Arbeit, der am meisten Aufmerksamkeit verlangt, vollbracht. Es erübrigt noch die richtige Menge Weingeist einzufüllen. Zunächst muss das Wasser entfernt werden, sowie die Sand- oder Grandkörner, die man aufhebt, weil sie wieder zurückgethan werden müssen, nachdem sie getrocknet worden sind. Man lässt auch das Thermometer trocknen; bleibt in demselben eine gelinde Feuchtigkeit, so macht das nicht viel aus. Das könnte nur den Weingeist schwächen, aber einige Tropfen Wasser schwächen nicht [**469**] merklich die angewandte Menge Flüssigkeit.

Man giesst nun endlich den Weingeist von der Qualität, die man festgestellt hat, ins Thermometer, und zwar bis zu 3 bis 4 Grad über die Gefrierpunktsmarke, etwa bis D (Fig. 1 CC). Etwas mehr oder weniger macht nichts aus, weil erst in der Kälte des Eiswassers man sehen kann, ob ein Theil zuzufügen oder fortzunehmen sei, denn jetzt muss man das Wasser um die Weingeist enthaltende Kugel herum gefrieren lassen.

Zu dem Zwecke stellt man die Kugel des Thermometers in ein cylindrisches Gefäss von Eisenblech, dessen Durchmesser ein wenig den der Kugel übertrifft (Fig. 9 VV). Am besten reicht die Höhe dieses Blechgefässes bis zum Niveau der Gefrierpunktsmarke; wenn das Gefäss aber auch nur einige Grade die Kugel überragt, so wird das Thermometer nicht merklich schlechter sein. Jetzt füllt man Wasser in's Gefäss, um es gefrieren zu lassen.

Es ist bekannt, wie künstliches Eis sich bildet; die gewöhnlichen Handgriffe werden auch hier angewendet. Das Gefäss muss in ein zweites von grösserem Durchmesser gestellt werden, das mindestens dieselbe Höhe hat. Weissblech ist sehr hierzu geeignet. Der Raum zwischen den beiden Gefässen wird mit fein zerstossenem Eise und einer gehörigen damit vermischten Portion Salpeter, Samiak oder Meersalz erfüllt. Man beschleunigt den Process, wenn man die Gefässe bedeckt, damit die äussere Luft die Wirkung weniger hemme. Die Verfertiger der Eisspeisen begnügen sich meist damit, dass sie einige Servietten oder Wischtücher auf die Gefässe decken. Am besten bedeckt man dieses Leinzeug mit einer Lage zerstossenen Eises, über welches man noch mehrere Tücher deckt.

[**470**] In dem Maasse, als das Wasser in der Umgebung der Thermometerkugel kälter wird, sinkt die Flüssigkeit im Rohr. Wenn die Oberfläche des Wassers gefroren ist, so hat die Flüssigkeit bereits beinahe den niedrigsten Stand erreicht. Glaubt man, dass derselbe wirklich erreicht ist, und befindet sich das Niveau unterhalb der Gefriermarke *B* (Fig. 9), so giebt man mit ganz kleinen Maassgläsern oder mit dem kleinen Trichter (Fig. 10) etwas Weingeist hinzu, bis derselbe sich genau bis zur Marke des festen Punktes in der Röhre erhebt (Fig, 9 *CC*). Jetzt merke man wohl auf, ob die Flüssigkeit nicht noch weiter sinkt, geschieht das, so muss bis zur Marke nachgefüllt werden. Erst wenn sie fest einsteht, kann man die Kugel aus dem Eise herausnehmen. Um das Glas nicht zu zerbrechen, und das ganze Thermometer zu riskiren, lässt man lieber das Eis schmelzen, bis das Thermometer frei ist, oder man beschleunigt dieses Schmelzen durch Zugiessen von warmem Wasser. Zuweilen kommt es vor, dass nach dem Eingiessen der kleinen Menge Weingeist, die zum Anfüllen bis zur Marke nöthig erschien, nachdem die Uebereinstimmung zwischen Niveau und Faden erreicht ist, doch nach einer Viertelstunde die Flüssigkeit um eine Linie oder mehr höher steht. Man sollte meinen, das Eis habe angefangen zu schmelzen, doch ist die Erhebung des Niveaus der Flüssigkeit einer anderen Ursache zuzuschreiben, es hat Zeit gekostet, bis die an den Wänden haftende Flüssigkeit sich angesammelt hat. Man kann es sicher erweisen, dass aus diesem Grunde sich das Niveau gehoben hat, denn, sobald dasselbe constant geworden ist, beharrt es lange Zeit, selbst 8 bis 10 Stunden hindurch, wenn die

Gefässe an einem kühlen Orte sich befinden und wenn sie gut umhüllt waren. Man muss also den Ueberschuss über der Marke fortnehmen. Das gelingt mit Hülfe eines Capillarrohres, das man in die Röhre senkt, indem man am oberen Ende saugt, während das untere in die Flüssigkeit taucht. Man kann sich auch desselben Capillarrohres bedienen, um bis zur Marke, wenn etwas fehlt, nachzufüllen. [471] Diese Art, das Anfüllen zu beendigen, ist präciser und rascher ausgeführt, als wenn man von oben Flüssigkeit nachgiesst; denn man braucht das langsame Hinabfliessen längs der Wände nicht abzuwarten. Zuweilen muss man so wenig Flüssigkeit entfernen, dass man mit dem Capillarrohre zu viel fortnähme. Besser behilft man sich dann mit einem Draht, den man in ein Bleikorn gesteckt hat. Dieses Bleikorn lässt man in die Flüssigkeit hinab; ein kleiner Theil derselben adhärirt am Draht und am Korn und wird mit denselben entfernt. Wenn man zwei- bis dreimal dasselbe wiederholt, wird man das fortgenommen haben, was zu entfernen war. Wenn übrigens ein Verfahren Aufmerksamkeit erfordert, so ist es gerade dieses, nämlich die genaue Uebereinstimmung des Flüssigkeitsniveaus mit dem Faden, der die Röhre umgiebt, zu erzielen. Ein Fehler von $^1/_4$ oder $^1/_8$ Grad würde sich auf alle Grade übertragen.

Hat man das Thermometer aus dem Eise entfernt, so braucht man nur noch das obere Ende zuzuschmelzen (Fig. 9 *X*). Wer die Lampe der Glasbläser kennt, weiss auch, wie man hier verfährt. Will man die Röhre zuschmelzen, so erwärmt man die Luft in der Röhre, man verdünnt sie dadurch, so dass das, was über der Flüssigkeit nachbleibt, weder die Dichtigkeit, noch mithin die Spannkraft der gewöhnlichen Luft hat.

Statt die Röhre an der Lampe zuzuschmelzen, kann man sich damit begnügen, sie mittelst einer Mischung aus Wachs und Terpentin zu verschliessen. Das genügt, um die Communication der inneren mit der äusseren Luft vollständig auszuschliessen. Man wird so erreichen, dass bei dieser Art des Verschlusses die innere Luft selbst dünner ist, als in dem anderen Falle, und dass sie bis zu einem besser bekannten Grade verdünnt ist. Zu diesem Zwecke steckt man die Kugel in Wasser, das man allmählich erwärmt. Die Flüssigkeit hebt sich, die Luft wird ausgetrieben und wird aus dem oberen offenen Ende entweichen; man wird das Rohr verschliessen, wenn die Luft nur noch den Raum einnimmt, den man ihr

belassen möchte. [472] Wenn die Länge des Rohres es erlaubt, wird man vor dem Verschliessen den Weingeist ansteigen lassen, bis soweit, als es im kochenden Wasser ansteigen kann, oder nahe so weit. Doch werden wir ein anderes Verfahren angeben, um diesen festen Punkt zu bestimmen, bei welchem man die Kugel nicht in kochendes Wasser zu stecken braucht; man ist sicherer in der Bestimmung eines Punktes, wenn derselbe durch zwei verschiedene Methoden erhalten wird.

Wir wollen uns jetzt die Frage nicht beantworten, ob es besser sei, im Thermometer gewöhnliche Luft oder doch sehr verdünnte zu belassen, d. h. solche, die die Physiker leere Räume nennen. Ich will nur soviel ankündigen, dass beide Fälle ihre Bedenken haben, welche nach meiner Meinung bei einem mittleren Zustande gemindert werden; daher lasse ich die Luft in der Röhre weder in ihrem gewöhnlichen Zustande, noch lasse ich sie gar zu sehr verdünnen. Ein Zustand entsprechend dem der höchsten Temperatur unserer Klimate scheint mir der passendste zu sein; dieser Zustand ist sehr bequem zu erhalten; man lässt den Weingeist emporsteigen mittelst Eintauchen des Thermometers in warmes Wasser und verkittet darauf das obere Ende mit unserem Gemenge aus Wachs und Terpentin, welches noch mit einem Firniss überzogen werden kann. Die letzte Art des Verschlusses hat den einzigen Uebelstand, dass man das Thermometer nicht umkehren darf, da sonst der Verschluss vom Weingeist angegriffen werden müsste. Man kann das Thermometer auch über der Lampe zuschmelzen ohne vorher die Luft zu verdünnen; zu dem Zwecke zieht man das obere Ende zu einem langen hohlen Faden aus, lässt ihn erkalten und schmelzt dann ziemlich plötzlich das Ende dieser capillaren Röhre zu.

Nachdem auf irgend eine Weise das Rohr verschlossen worden ist, braucht man es nur noch auf der Platte richtig anzubringen. Die richtige Stellung aber ist leicht zu finden; der beim Gefrierpunkt befindliche Faden [473] ist ein sicherer Führer; dieser Faden muss genau bei der entsprechenden Marke auf der Platte stehen.

Wenn man nach der Ausführlichkeit aller Einzelheiten unserer Beschreibung urtheilt, so scheint die Construction der neuen Thermometer länger und schwieriger, als sie es in Wirklichkeit ist. Man darf nie die Zeit der Ausführung nach der Zeit der Auseinandersetzung bemessen. Zudem lässt sich

manches Verfahren für Verfertiger von Thermometern noch abkürzen. Sie können grosse Maassgefässe haben verschiedener Capacität, deren jedes 1000 kleinere Theile enthält, und haben sie einmal eine gewisse Anzahl derselben, so finden sich unter ihnen leicht solche, die das Thermometer bis zur Gefrierpunktsmarke füllen, vollends da dieser Punkt einen ziemlich weiten Spielraum hat. Steht die eingegossene Flüssigkeit zu tief in der Röhre, so schüttet man Körner nach. Eine andere Kürzung des Verfahrens erreicht man mit Maassgefässen von 975, statt 1000, kleinen Theilen, und auch diese von verschiedenem Volumen. Hat man 975 Theile eingegossen, so kann man einzelne 25 Maasstheilchen Quecksilber nachschütten. Sobald eines der letzteren in die Kugel getreten ist, bezeichnet man auf der Platte den Stand der Flüssigkeit und dieser Art graduirt man das Thermometer noch bequemer, als wir es oben beschrieben haben, denn vorhin mussten wir vom Gefrierpunktsstande aus erst 25 Theile abgiessen, um dann die 25 Maass Quecksilber einzuschütten. Endlich wird man in der Praxis noch andere Vereinfachungen ersinnen.

Doch eines Umstandes muss noch Erwähnung geschehen, der denjenigen Arbeitern, die viele Thermometer herzustellen haben, zu Gute kommen wird. Wenn einmal einige Thermometer mit grosser Genauigkeit ausgeführt sind, [**474**] und wenn man von dem Weingeist der Füllung noch etwas nachbehalten hat, so kann man sich die Unkosten und Mühen des künstlichen Gefrierens ersparen. Wenn die Capacität der Kugeln und Röhren wohl ausgemessen, mit einem Worte, wenn die Gradation ausgeführt ist, so kann in die neuzufertigenden Thermometer soviel von dem Weingeist eingegossen werden, dass er denselben Stand einnimmt wie bei den anderen Thermometern. Der Gang beider wird jetzt genau der gleiche sein, wenn die Graduirung nur sorgfältig ausgeführt war. Bisher haben wir noch nichts von den kleinen Trichtern erwähnt, mittelst welcher man die grossen Mengen in die Röhren giesst; wir benutzen die gewöhnliche Form (Fig. 10) oder die unserer kleinen Maassgläschen (Fig. 11), mittelst welcher man mehrmals die Flüssigkeit eines grossen Maasses ausschöpft, nachdem dasselbe in ein Glasgefäss gegossen worden ist.

Welches auch in verschiedenen Thermometern die Anzahl von Graden sei, die das Volumen des Weingeistes beim künstlichen Gefrierpunkt ausdrückt, stets wird man sie bald auf

ein gemeinsames Maass zurückführen können, da man leicht die Verhältnisse übersieht. Sei das Volumen der Flüssigkeit in einem Instrument 800, im anderen 900, so verhalten sich die Grade wie 8 zu 9, d. h. 8 Grade des einen gelten so viel wie 9 des anderen. Also werden diese beiden Thermometer, wenn sie derselben Luft ausgesetzt werden, das eine etwa 16, das andere 18 Grad zeigen. Aehnlich bei jedem anderen Vielfachen von 100. Aber gebrochene Zahlen (nombres rompus) wie 813, 743 würden den Vergleich der Grade sehr erschweren, man könnte ihn nicht sofort ausführen, darum haben wir solcher Art Zahlen vermieden. Es wäre mir übrigens doch lieber, wenn man das Volumen der Flüssigkeiten auf allen Thermometern mit ein und demselben Vielfachen von 100 bezeichnete; denn es giebt 1000fach Leute, die Thermometer gebrauchen, denen so einfache Reductionen wie die obigen Verlegenheiten bereiten würden. [**475**] Diesen Leuten zu Gefallen wünschte ich auf allen Thermometern den Gefrierpunkt mit derselben Zahl bezeichnet zu sehen; 1000 habe ich gewählt für alle, die ich verfertigen liess. Mit Hülfe der grossen Maassgefässe von 1000 oder 975 von verschiedener Capacität wird man stets bequem Thermometer auf diese Zahl construiren können. Ist eines auf 800 oder 900 angelegt, so kann es auf jenes reducirt werden, sobald man sich die Mühe nimmt eine Gradscala anzufertigen. Hat man z. B. 800 statt 1000 gewählt, so gelten 8 Theile soviel wie dort 10, 4 Theile soviel wie dort 5. Zur Construction der neuen Scala müssen also 4 Grade in 5 Theile getheilt werden. Der Proportionalcirkel erleichtert die Theilung und das Verhältniss der Grade wird nicht merklich gestört sein, nur muss man bei der Theilung den ersten unterhalb des ersten der 4 Grade anbringen, und der letzte Theilstrich der fünfte oberhalb des höchsten der 4 Grade. Ebenso verfährt man bei jeder anderen Reduction, wie z. B. bei 900 auf 1000.

Wenn man nicht selbst erprobt hat, wie dies erläuterte Verfahren der Thermometergraduirung bequem in der Ausführung ist, so wird man kaum glauben, dass es so genaue Messungen gestattet. Mittelst der kleinen mit Quecksilber gefüllten Maassgläschen ist jeder Grad mit grosser Genauigkeit bestimmt. Vielleicht erscheint es schwieriger, die Capacität der Kugel und des mit Flüssigkeit gefüllten Theiles der Röhre auszuwerthen, dessen Volumen beim künstlichen Gefrieren

bestimmt wird. Diese Capacität enthält 1000 Maasstheile; sollte man auf 1000 nicht leicht einen Fehler von einigen Theilen begehen? Ich behaupte, wenn man aufmerksam operirt, wird man nicht um einen einzigen Theil sich versehen. Aber selbst wenn man einen Fehler von 2 bis 3 Theilen annimmt, so wird daraus noch keine beträchtliche Schädigung entstehen; gesetzt man hätte statt 1000, 1002 Theile, wie gross wäre der daraus folgende Fehler in einem bestimmten Falle, damit man daraus eine Vorstellung [**476**] auch für andere Fälle gewinnt? Sei das Volumen beim Gefrierpunkt genau 1000 und stehe die Flüssigkeit bei der Marke 20, so wird das Thermometer, welches thatsächlich 1002 beim Gefrierpunkt hat, auf $20 + \frac{1}{25}$ Grad stehen. Also beträgt der Fehler bei 20 Grad nur $\frac{1}{25}$ Grad und bei 40, welches schon einer hohen Temperatur entspricht, nur $\frac{2}{25}$ Grad. Das sind zu vernachlässigende Grössen.

Bis hierher haben wir Alles das aufgeschoben, was noch zu besprechen wäre; vor Allem fragt es sich, ob der Gefrierpunkt des Wassers so fest ist, dass wir uns nach ihm richten dürfen; und ob alles künstliche Eis während seiner Bildung denselben Kältegrad besitzt. Wir wissen, dass im Winter der Kältegrad des Eises nicht genau derselbe ist (n'est pas à beaucoup près le même). Im denkwürdigen Winter 1709 habe ich am Eise Beobachtungen angestellt und gefunden, dass es sehr viel kälter war, als gewöhnliches Eis. Ich habe nicht beobachten können, ob im Momente der Eisbildung das Eis kälter war als künstliches Eis. Aber wenn Eis fähig ist, kälter zu werden, so folgt daraus noch keineswegs, dass Eis, das sich aus reinem Wassser bildet, kälter ist als anderes Eis. Dieses Verhalten verdiente untersucht zu werden. Was übrigens auch dabei resultiren mag, es wird nichts gegen unsere künstliche Eisbildung aussagen: denn ich setze stets voraus, dass wir die Versuche in einem Raume vornehmen, dessen Luft weniger kalt ist als das Eis. Unter dieser Bedingung kann alle Kälte, die das gefrierende Wasser aufnimmt, nur von dem Gemisch aus Eis und Salz stammen, welches das Wassergefäss umgiebt; das Wasser in dem Gefäss bleibt flüssig und ist gewöhnliches Wasser, so lange es nicht genug Kälte in sich aufgenommen und genug von dem Stoff abgegeben hat, welcher die Bewegung seiner Theile unterhält. Wenn diese Bewegung aber aufhört, wenn das Wasser anfängt fest zu werden (commence à se figer), so scheint dieser

Zustand erst dann einzutreten, wenn nur noch sehr wenig von dem Stoffe vorhanden ist, der zur Bewegung der Theilchen oder, was dasselbe ist, der zur Erwärmung desselben erforderlich ist.

[**477**] Es bleibt immerhin noch eine grosse Schwierigkeit übrig, die wir aus den mit Thermometern angestellten Beobachtungen kennen gelernt haben. Wasser gefriert, wenn es im Winter einer gewissen Kälte ausgesetzt wird; an anderen weit kälteren Wintertagen friert es nicht. Und noch mehr: häufig beginnt das Flüssigwerden und das Eis schmilzt, obwohl das Thermometer viel grössere Kälte anzeigt, als bei der Bildung des Eises sich zeigte. Ehe man diese Thatsachen discutirt, müssen alle Umstände besser untersucht werden, als ich es bisher gethan habe, und ich hoffe im bevorstehenden Winter diese Untersuchung auszuführen.

Was folgt aus dem Allem? Offenbar, dass die Luft, obwohl sie kalt ist, nicht immer das Wasser gefrieren machen kann; dass sie bisweilen das Eis schmelzen kann, während sie selbst kälter ist als damals, wie das Eis sich bildete. Aber unser künstliches Eis ist keiner solchen Veränderung ausgesetzt, wie wir sie bei der Berührung mit kalter Luft beobachten. Denn 1. ist unser Eis zu einer Zeit hergestellt worden, wo die Luft nur ein Schmelzen bewirken könnte; 2. Das Eis wird durch ein Gemenge von Eis und Salz hervorgerufen, welches kälter ist als die Luft, und 3. haben wir vorsorglich das Wassergefäss bedeckt, sowie die Mischung von Eis und Salz, und zwar mit einem Tuch, auf welchem Eis ausgebreitet ist. Diese Eisschicht hindert die Aussenluft, auf das zu gefrierende Wasser, wie auch auf das Gemenge aus Eis und Salz zu wirken.

Was aber mehr werth ist als alle vorstehenden Erwägungen, und was widerspruchlos mir festzustehen scheint, das ist die Thatsache, dass ich Eis in verschiedenen Jahreszeiten gebildet habe, ferner an heiteren wie an regnerischen Tagen, während sehr verschiedener Winde, und diese Eismassen haben stets das Thermometer bis zur Marke der künstlichen Eisbildung sinken lassen.

Gehen wir nun endlich zum letzten fundamentalen Punkte in der Construction der Thermometer über, [**478**] zu einem bis jetzt vernachlässigten Gegenstande. Wir sahen, wie sehr es wesentlich war, Weingeist von bestimmter und bekannter Qualität zu benutzen, sonst hülfe die Bestimmung des Aus-

gangspunktes und die genaue Graduirung der Grade gar nichts, denn wenn auch jeder Grad einem bestimmten Bruchtheil der Flüssigkeit entspricht, so würden verschiedene Thermometer doch die Kälte- und Wärmegrade durch Zahlen darstellen, die keinen Vergleich zulassen, weil die Weingeistarten verschieden ausdehnbar sind und zwar in Verhältnissen, die wir nicht kennen. Mithin ist es wesentlich, eine Methode zu ersinnen, die Qualität des Weingeistes, dessen Volumänderungen in den Thermometern man beobachten will, zu bestimmen.

In den Memoiren der Akademie vom Jahre 1718 befindet sich eine Methode, die Kraft des Weingeistes zu messen, von *Geoffroy* jun.; nach Durchmusterung der damals bekannten Verfahren und Besprechung ihrer Unvollkommenheiten verspricht er ein neues besseres und vortheilhafteres zu geben; zu dem Zwecke füllt er ein cylindrisches Gläschen mit dem zu untersuchenden Weingeist, stellt dasselbe in ein zweites, welches Wasser enthält; er zündet den Weingeist an und lässt ihn brennen, bis die Flamme verlischt. Er hat sogar die Vorsicht angewandt, einen beständigen Wasserstrom zu unterhalten in dem äusseren Gefässe, zur Erhaltung ein und derselben Temperatur. Nach dem Auslöschen der Flamme bleibt eine gewisse Menge Wasser oder Phlegma (flegme) nach; von zwei Arten Weingeist ist diejenige die stärkere, die weniger Rückstand (flegme) hinterlässt.

Je rectificirter der Weingeist im Thermometer ist, um so grösser ist die Volumveränderung, die einer Temperaturschwankung entspricht. Deshalb ist stärkerer Weingeist vorzuziehen. [**479**] Wenn indess die Qualität eines schwachen Weingeistes, ja selbst des Branntweines leichter zu bestimmen ist als rectificirter Weingeist, so könnte man auch mit Branntwein die Thermometer füllen. Was man durch Verminderung der Ausdehnbarkeit ihnen genommen hat, könnte man ihnen durch Vergrösserung der Kugel bei unverändertem Röhrendurchmesser ersetzen. Ich habe auch daran gedacht, solchen Branntwein zu verwenden, der nach der Verbrennung eine bestimmte Menge Phlegma hinterlässt, z. B. ein Viertel des Anfangsvolumens. Diese Methode schien mir sehr geeignet, die Qualität des Weingeistes zu bestimmen. Leider aber stellte ich durch Versuche fest, dass diese Methode, die vielleicht vollkommen ausreicht, um Streitigkeiten über die Qualität des Branntweins zwischen Kaufleuten, in Fällen, wo grosse Unterschiede in Frage kommen, zu entscheiden, doch nicht die

Genauigkeit besitzt, die sehr feine physikalische Experimente verlangen. Ich habe den Weingeist absichtlich verdünnt: bald nahm ich auf 4 Theile Weingeist einen Theil Wasser, bald dieselbe Wassermenge auf 3 Theile Weingeist, bald endlich vermengte ich gleiche Theile Wasser und Weingeist. In noch anderen Zwischenstufen habe ich Gemenge zubereitet, um recht verschiedene Qualitäten Weingeist zu haben. Dann habe ich mit aller Vorsicht diese Proben brennen lassen und sah zu, ob ich Phlegmarückstände entsprechend den bekannten Weingeistqualitäten erhalten würde, und fand, dass der Erfolg nicht der Erwartung genügend entsprach. Ein und dieselbe Qualität hinterlässt so verschiedene Rückstände, dass sie sehr wohl zwei verschiedenen Qualitäten entsprechen könnten, und zwei verschiedene Qualitäten gaben oft gleiche Rückstände. Ein Nichts (un rien) ist im Stande zu bewirken, dass die Flamme in einem Versuche früher erlischt als im anderen, [480] zuweilen reicht ein leichter Luftzug hin. Zur Verhütung von Luftbewegungen bin ich noch weiter gegangen, als in der erwähnten Abhandlung verlangt wird. Ich habe meine Weingeistproben in geschlossenen Räumen brennen lassen, wie z. B. in Glaskästen der Münzwaagen. Statt Wasser habe ich Eis im äusseren Gefässe angewandt. Kurz, was ich auch that, ich konnte nach dieser Methode nicht mit genügender Genauigkeit die Qualität des für Thermometer bestimmten Weingeistes erkennen.

Noch will ich bemerken, dass ich bei diesen Versuchen niemals die ganze Wassermenge im Rückstande erhielt, die ich selbst zugesetzt hatte; wenn der spirituöse Theil sich als Flamme erhob, nahm sie nicht nur ihr eigenes Phlegma fort, sondern noch ein gutes Theil von demjenigen, das ich zugefügt hatte, und das zwar in so verschiedener Menge, dass Niemand die Verhältnisse der Mischung, die ihm unbekannt war, hätte beurtheilen können.

Gezwungen, diesen Weg zu verlassen, sah ich mich nach einem anderen Verfahren um, die Qualität der Branntwein- und Weingeistproben zu messen. Es bot sich mir ein natürliches Vorgehen an, direct die Qualität zu bestimmen, von der die Wirkung in den Thermometern abhängt, indem ich untersuchte, um wie viel eine Flüssigkeit sich ausdehnt von einem gewissen Kälte- oder niedrigen Wärmegrade an bis zu einem bekannten höheren. Diese zwei Grenzen müssen fest sein und gehörig weit von einander abstehen, um merk-

liche Differenzen zu geben. Wir finden sie in dem künstlichen Gefrierpunkt und in der Temperatur des siedenden Wassers: indess habe ich längst bemerkt, dass der Weingeist früher siedet als das Wasser, in welches die Weingeist enthaltende Flasche gestellt ist. Wenn man Weingeist, der zu kochen angefangen hat, weiter erwärmt und ihn die Temperatur des siedenden Wassers annehmen lässt, so siedet er noch stärker. [**481**] Die Unregelmässigkeit in der Zahl und Grösse der Blasen an der Oberfläche, der aus dem Grunde des Gefässes aufsteigenden, sowie der überall in der Flüssigkeit zerstreuten, gestatten nicht genau das Volumen zu bestimmen, das der Weingeist bei der Temperatur des siedenden Wassers annimmt. Diese Betrachtungen haben mich aufgehalten (m'avaient arrêté); dem Uebelstande des Aufkochens wusste ich erst dann abzuhelfen, als ich durchaus die Bestimmung brauchte. Alltäglich lässt die Theorie uns ein Verfahren einfach erscheinen, welches man als praktisch unausführbar erkennt: während im Gegentheil die Theorie Schwierigkeiten zu enthalten scheint, die in der Praxis verschwinden. Jetzt wollte ich doch sehen, ob dieses Aufkochen des Weingeistes solch eine Art von Schwierigkeit enthalte, die grösser erscheint, als sie es in Wirklichkeit ist. In einen kleinen Kolben (Fig. 12) mit ziemlich engem Halse goss ich Weingeist bis zum Anfang des Halses (*ff*); diesen Kolben steckte ich ins Wasser, das ich langsam bis zum Sieden erwärmte. Der Weingeist fing, wie gewöhnlich, an zu kochen, ehe das Wasser aufbrodelte; ich nahm nun den Kolben fort und augenblicklich hörte alles Kochen auf. Jetzt bezeichnete ich die Stelle auf dem Halse des Kolbens, wo der Weingeist stand, unmittelbar nach der Beruhigung der Flüssigkeit (*gg*); dann tauchte ich den Kolben nochmals ein in das siedende Wasser; die Flüssigkeit erhob sich über die eben bezeichnete Marke und fing wieder an zu sieden; aber — und das ist bemerkenswerth — als die Flüssigkeit von neuem zu kochen begann, stand sie höher als die Marke nach dem ersten Aufhören der Bewegungen. Nochmals zog ich den Kolben zurück. Sofort hörte alles Brodeln auf und die Flüssigkeit stand im Kolbenhalse höher als das erste Mal (*hh*). So habe ich mehrere Male den Kolben herausgenommen und wieder zurückgestellt, bis das Wasser zu sieden anfing und selbst bis das Wasser stark kochte. [**482**] Stets sah ich sowohl auf der Oberfläche des Weingeistes wie in der Mitte die Blasen verschwinden, einen Augenblick nachdem ich

den Weingeist herausgenommen hatte; die Oberfläche wurde sofort eben. Dieselbe erhob sich immer mehr und mehr bis zu einem gewissen Punkte; einmal an diesem Punkte angelangt (*ii*), erhob sich zwar stets die Flüssigkeit beim Zurückstellen des Kolbens in das siedende Wasser; aber nachdem ich ihn wieder herausgenommen und das Brodeln aufgehört hatte, blieb die Flüssigkeit stets an derselben Stelle des Kolbenhalses. Diese Stelle musste ich also als den festen Punkt betrachten, der der grössten Ausdehnung entspricht, die das siedende Wasser beim Weingeist hervorbringt, im Momente, wo derselbe nicht mehr kocht; ich glaubte, solch einen festen Punkt für jede andere Art Weingeist oder Branntwein zu erhalten, und das Verfahren schien mir geeignet, genau den Grad der Ausdehnbarkeit jeder Weingeistprobe festzustellen und letztere zu charakterisiren[3]).

In der Absicht, die Versuche sorgfältiger anzustellen, um zu sehen, ob meine Meinung bestätigt werde, verfuhr ich ebenso, wie bei der Herstellung der Thermometer: ich wählte einen passenden Kolben mit engem Halse aus und füllte ihn bis zum Anfang des Halses mittelst kleiner Maassgläser (Fig. 12), es reichten deren 400 bis zur Marke (*CC*). Da wurde ein Faden befestigt um den Hals herum; dann brachte ich die Kolben in ein Gefäss von Weissblech, das in einem grösseren Behälter stand voll gestossenen Eises, gemengt mit Salz. Kurz ich liess das Wasser um den Kolben herum gefrieren. Der Weingeist senkte sich unter den Faden. Dann fügte ich soviel Maassgläschen voll Weingeist hinzu, bis letzterer wieder bei der Marke (*CC*) stand. Endlich hatte ich beim Faden das Volumen von 400 Theilen Weingeist bei der dem Gefrierpunkt entsprechenden Dichtigkeit. [483] Was ich beabsichtigte. war, die Differenz des Volumens derselben Menge Weingeist, in der Temperatur des siedenden Wassers gegen das ursprüngliche Volumen, in Theilen dieses letzteren, zu erfahren. Ich erwärmte nun das Wasser und liess es sieden. Nur im Dampfe des kochenden Wassers erwärmte ich den Kolben mit dem Weingeist. Als ich ihn für genügend erwärmt hielt, um nicht mehr in der Wärme des Wassers zu zerbrechen, versenkte ich ihn ganz allmählich ins Wasser; sehr bald fing der Weingeist an zu kochen und ich zog den Kolben heraus. Ich hatte einen zweiten Faden angebracht, den ich am Halse nach oben gleiten lassen konnte. Mit diesem bezeichnete ich die Stellen, bei welchen die Flüssigkeit nach ihrer Beruhigung stehen blieb.

Wiederum that ich den Kolben zurück und wiederum hob ich ihn heraus. Den Faden erhob ich stets bis zu der Stelle, wo die Flüssigkeit stehen blieb nach dem Aufhören der Blasen. Nach 5- bis 6maliger Wiederholung blieb der Ort des Fadens beständig derselbe (*ii*), und so sah ich diese Stelle für den Punkt der grössten Ausdehnbarkeit des Weingeistes, wenn er nicht kocht, in siedendem Wasser an. In anderen Fällen, für welche ich nur die Resultate mittheilen will, verfuhr ich ebenso. Um den vorhin begonnenen Versuch zu vollenden, brauchte nur noch der Rauminhalt zwischen den beiden Fäden gemessen zu werden (*CC* bis *ii*) in denselben Maasseinheiten, deren 400 bis zum ersten Faden reichten, der dem Gefrierpunkte entsprach. Ich fand die Strecke gleich 35 Maasseinheiten. Mithin besass das Volumen, welches auf 400 beim Gefrierpunkte verdichtet war, bei der Temperatur des siedenden Wassers 435 Theile. Dieser Weingeist gehörte zu den besten verkäuflichen Sorten. In einem Löffel verbrannt liess er kein Wasser zurück, er entzündete Pulver. Diese letzteren Eigenschaften definiren aber sehr schlecht die Qualität, denn sie können sowohl bei weniger, als mehr rectificirtem Weingeist vorkommen, während die Qualität wohl bestimmt ist, [**484**] wenn man sagt, sein Volumen beim künstlichen Gefrierpunkt verhält sich zu dem durch die Wärme des kochenden Wassers erhaltenen wie 400 zu 435, oder wie 80 zu 87. Ein noch stärker rectificirter Weingeist wird eine grössere Differenz der Volumina aufweisen, ein schwächerer eine kleinere Differenz.

Um zu prüfen, ob das Verhalten in den schwächsten Sorten Weingeist der Erwartung entsprechen werde, habe ich damit begonnen, Wasser aus der Seine zu untersuchen in Hinsicht auf seine Ausdehnung vom künstlichen Gefrierpunkte, bei dem das zu untersuchende Wasser im Gefässe noch nicht erstarrt, bis zum Siedepunkt des Wassers. Ich fand das Verhältniss nahezu wie 400 zu 415. Dieses Wasser, dessen Ausdehnungsgrössen nun bekannt waren, fügte ich zum Weingeist meines vorigen Versuches, und zwar 1 Theil Wasser auf 3 Theile Weingeist. Ein Theil dieses verdünnten Weingeistes, und zwar ein Volumen von 400 beim künstlichen Gefrierpunkte, wurde durch die Wärme des siedenden Wassers ausgedehnt, so dass sein Volumen nahe 430 Theile betrug. Das Verhältniss der beiden Volumina ist also 400 zu 430, genau wie es bei dem Gemenge zu erwarten war; denn das ganze Volumen bestand aus 300 Theilen Weingeist und 100 Wasser; vom

Weingeist wären 400 Theile auf 435 ausgedehnt oder 400 hätten um 35 zugenommen. Daraus folgt für 300 Theile eine Zunahme von $26^1/_4$ Theilen. Ferner hätten 400 Theile Wasser einen Zuwachs von 15 Theilen erfahren, also 100 Theile $3^3/_4$. Die Volumzunahme unseres Weingeistes setzt sich zusammen aus der von 300 Theilen Weingeist und 100 Theilen Wasser; [**485**] die erstere beträgt $26^1/_4$, die letztere $3^3/_4$; beides zusammen macht 30, welches über Erwarten genau die experimentell gefundene Zahl ist; auch habe ich nicht immer bei anderen Gemengen in anderen Verhältnissen eine so gute Uebereinstimmung gefunden, doch war sie stets angenähert der Erwartung entsprechend.

Dieselbe Uebereinstimmung fand ich noch bei gleichen Theilen Wasser und Weingeist. Das Volumen dieses Gemenges stieg von 400 beim Gefrierpunkt auf 425 in der Wärme des siedenden Wassers.

Wenn übrigens in Folge irgend welcher besonderer Umstände das Gemenge nicht sich so verhalten würde, wie es die Zusammensetzung erwarten liesse, so würde das die Construction der Thermometer nicht beeinträchtigen, wenn man nur die Ausdehnbarkeit des angewandten verdünnten Weingeistes bestimmt. Uebrigens ist es nicht nur möglich, dass gewisse Umstände das Ausdehnungsverhalten des Gemenges von dem aus den Bestandtheilen berechneten abweichen lassen, es giebt wirklich solche, nur wollen wir sie heute nicht untersuchen; sie hängen mit einigen anderen Thatsachen zusammen, deren Erläuterung uns zu weit führen würde, und die wir in einer besonderen Abhandlung besprechen wollen; die vorkommenden Differenzen in der Ausdehnung des Weingeistgemenges sind für die Praxis nicht erheblich.

Wir können also unsere Methode anwenden, nicht bloss zur Kennzeichnung der mehr oder weniger rectificirten Weingeistarten, sondern auch zur Bestimmung und Vergleichung der Stärke der verschiedenen Branntweinsorten. Wenn wir einen Weingeist gewisser Qualität haben von bekannter Ausdehnbarkeit, den wir als Ausgangspunkt wählen, so wird man an dem Verhalten anderer Proben erkennen, wie viel Wasser man zufügen müsse, [**486**] um ein Gemenge zu erhalten, welches dem zu untersuchenden Branntwein gleich sei, oder, was auf dasselbe herauskommt, wie viel Weingeist der Ausgangsprobe, und wie viel Wasser oder Phlegma man mischen müsse, um den fraglichen Branntwein herzustellen.

Die Anwendbarkeit dieser Methode beschränkt sich nicht auf die Construction der Thermometer, es giebt unendlich viel andere Fälle, namentlich im Handel, in denen die Kenntniss der Qualitäten von Weingeist und Branntwein wichtig ist.

Es muss indess hervorgehoben werden, dass zur genauen Ausführung der Versuche über die Ausdehnbarkeit dieser Flüssigkeiten wesentlich die Anwendung eines Gefässes von Kolbengestalt gehört, oder von einer ähnlichen Form, d. h. es muss einen langen Hals haben, der nicht gar zu dünn ist. Wollte man statt des Kolbens eine Thermometerkugel mit einer Röhre von mittlerer Dicke nehmen, so würden die Blasen schwer aufsteigen können und würden stossweise den Weingeist erheben. Selbst in ziemlich weitem Kolbenhalse kann man durch plötzliche Ergüsse von Weingeist überrascht werden, die hoch emporsteigen und aus dem Kolben herausfliegen und den Versuch stören, wenn man nicht sehr aufmerksam ist und aus dem siedenden Wasser sofort den Kolben herauszieht, wenn der Weingeist zu sieden beginnt. Kurz gesagt, es werden die Weingeistprüfungen nur dann genau ausfallen, wenn man sie mit Umsicht anstellt und mehrmals wiederholt. So sicher alle Vorschriften sind, um den Gehalt an Gold oder Silber zu bestimmen, sie müssen dennoch von verständigen Leuten ausgeführt werden, die zudem gehörige Uebung haben.

Alles was physikalisch gemessen werden soll, kann nur mit annähernder Genauigkeit bestimmt werden, die uns indessen genügt. Ein Umstand begleitet unsere Weingeistprüfungen, der die erwünschte Genauigkeit beeinträchtigt. [**487**] Die im Eise verdichtete und in siedendem Wasser befindliche ausgedehnte Flüssigkeit müsste sich stets in Gefässen gleicher Capacität befinden; aber das Gefäss, aus welchem Stoff es auch bestehe, ist selbst einer Verdichtung und Ausdehnung unterworfen. Wenn die Kälte des Eises auf den Kolben wirkt, so zieht letzterer sich zusammen und verkleinert seinen Rauminhalt; während die Wärme des siedenden Wassers die Capacität vermehrt, den Kolben ausdehnt. Der Kolben, welcher bei mässiger Wärme 1000 fasst, thut es nicht mehr in gefrorenem Wasser, und fasst mehr, wenn er bis zur Siedehitze erwärmt worden ist. Wir messen den Kolbeninhalt in gewöhnlich temperirter Luft, mithin ist die Marke die wir 1000 nennen, nicht diesem Volumen entsprechend, wenn der Kolben im Eise abgekühlt ist; und die Stelle am

Kolben, die im siedenden Wasser mit 1075 oder 1080 bezeichnet worden ist, hat eine diese Zahl übersteigende Capacität. Man kann diese Abweichungen in beiderlei Sinne nicht vermeiden, aber ich denke, ihren Betrag kann man wohl schätzen und dann am Versuchsresultate Correctionen anbringen, oder wenigstens beurtheilen, ob es lohnt dieselben zu berücksichtigen. Ich verfuhr folgendermaassen: In mässiger Temperatur mass ich mit Wasser den Inhalt eines Kolbens, 1200 Maasstheile gingen hinein bis zur Fadenmarke. Dann entleerte ich den Kolben, und umgab ihn leer mit gefrierendem Wasser. Dann füllte ich wieder Wasser ein, dessen Temperatur nahe gleich der der Gefässwände war, also mit Wasser, das eben gefrieren wollte; 1199 Theile gingen jetzt bis zur Marke; also hatte die Capacität um 1 Theil, d. h. um $^1/_{1200}$ abgenommen. Auf demselben Wege gelang es nicht die Vermehrung im siedenden Wasser zu bestimmen, weil es sehr schwer ist die kleinsten Maassgläser mit sehr heissem Wasser zu füllen, ein anderes Verfahren bot einigermaassen Ersatz: der Kolben mit Wasser bis zur Marke wurde plötzlich in kochendes Wasser eingetaucht und glücklicherweise zerbrach er hierbei nicht; das Wasser im Kolbenhalse sank sofort. [**488**] Schon lange hat man bei Thermometern etwas Aehnliches beobachtet; die Flüssigkeit senkt sich, statt zu steigen, wenn man die Kugel plötzlich erwärmt. Man weiss auch sehr wohl, dass dieses Sinken der Flüssigkeit von der Erwärmung der Gefässwände herstammt, noch ehe die innere Flüssigkeit merklich beeinflusst ist; dass also die Capacität vermehrt worden, ehe das Flüssigkeitsvolumen hat zunehmen können. In unserem Versuche senkte sich der Weingeist um einen Maasstheil ungefähr, um soviel also hat die Capacität des Kolbens zugenommen; wenn man also die Ausdehnung des Gefässes vernachlässigt, so würde der Weingeist, der von 400 auf 435 oder von 1200 bis 1305 sich scheinbar ausgedehnt hätte, in Wirklichkeit von 1199 auf 1306 gewachsen sein, wenn man die Veränderung der Kolbencapacität in Rechnung zieht. Statt übrigens die Capacität in mässiger Temperatur zu messen, könnte man solches beim Gefrierpunkte ausführen, mit Wasser, das eben gefrieren will, wie eben besprochen ward, und dann wird der Faden wirklich 1200 Maass anzeigen bei Gefriertemperatur. Um die Versuche zu corrigiren, wird man stets die Volumvermehrung durch Ausdehnung des Gefässes hinzufügen müssen, was etwa einen Theil auf 1200 oder $^1/_3$ Theil

auf 400 ausmacht. Hat man also beim Gefrierpunkt 400, beim Sieden 435, so nehme man schätzweise 435 $^1/_3$. Doch muss bemerkt werden, dass man dem Volumen 400 zu viel zufügt, wenn man $^1/_3$ der Zunahme von 1200 nimmt: denn die durch Wärme in Kugeln hervorgerufenen Ausdehnungen sind proportional den Durchmessern oder Peripherien dieser Kugeln und die Capacitäten verhalten sich wie die Cuben dieser vergrösserten Durchmesser[4]).

Um Thermometer zu erhalten, die genau und bequem vergleichbare Grade haben in allen Ländern, müssten die Gelehrten sich über die Weingeistqualität verständigen; sie sollten die Forderung aufstellen, dass alle Thermometer [489] mit diesem für geeignet erklärten Weingeist gefüllt würden. Ihre Wahl sollte nicht auf einen sehr hoch rectificirten Weingeist fallen; denn man würde solchen nicht überall erhalten. Eine Qualität zwischen den beiden von uns benutzten wäre die von 32 Volumzunahme auf 400, sie ist schwächer als die gewöhnlich angetroffene; daher könnte man sich eine solche leicht beschaffen oder stärkere Sorten auf diese verdünnen. Die 8 Theile Ausdehnung auf je 100 geben eine bequem theilbare Zahl, und das hat mich bestimmt, diese Wahl zu treffen, bis es sich etwa zeigt, dass man eine andere Qualität, eine stärkere oder schwächere, vorzieht.

Welchen Weingeist man auch wähle, stets soll man seine Ausdehnbarkeit auf der Thermometerplatte verzeichnen. Man wird z. B. oben aufschreiben: *Weingeist, dessen Volumen beim Gefrieren des Wassers 1000, und durch siedendes Wasser ausgedehnt, 1080 beträgt*[5]). In diesem Falle wird, wenn das Thermometer lang genug ist, die Marke des Wassersiedepunktes der Ausdehnung rechts mit 80, links mit 1080 bezeichnet. Ist das Thermometer nicht so lang, so erkennt man sogleich die fehlenden Grade. Uebrigens ist es sehr unwesentlich, sämmtliche Grade zu haben, wenn man nur die Temperatur der Luft messen will, da niemals die Wärme der Luft der des siedenden Wassers nahe kommt.

Hat man Weingeist, dessen Ausdehnungsgebiet grösser ist, als man es für das Thermometer wünscht, so wird man dasselbe vermindern; man wird durch Wasserzusatz die Gleichheit mit der anderen Art erreichen. Man könnte das durch Annäherung bewirken, allein sobald man die Ausdehnbarkeit des Weingeistes kennt, sowie die des Wassers, so ist es leicht das Verhältniss zu bestimmen, in welchem das Gemenge

zusammengesetzt sein muss, um den bestimmten Grad von Ausdehnbarkeit zu haben. Folgendes ist die Regel.

[490] Man bilde die Differenz der Ausdehnbarkeit des Wassers und der mittleren des erwünschten Gemenges.

Man bilde ferner die Differenz zwischen der mittleren und der des gegebenen Weingeistes.

Mischt man nun soviel Maass Weingeist, wie die erstgenannte Differenz beträgt, mit soviel Maass Wasser, wie die zweite Differenz ausmacht, so erhält man einen verdünnten Weingeist, dessen Ausdehnbarkeit den gewünschten Betrag haben wird. Sei der vorhandene Weingeist ein solcher, der bei 400 sich um 35 ausdehnt, und man wünscht einen, der auf 400 nur 30 an Volum zunimmt. Die Zunahme des Wasservolumens sei 15 auf 400. Alsdann ist die mittlere Ausdehnbarkeit des erwünschten Gemenges 30 auf 400.

Die Differenz für Wasser und die mittlere Qualität ist 30 weniger 15, also 15.

Die Differenz zwischen dem Weingeist und der mittleren Sorte ist 35 weniger 30, also 5.

Nach der Regel mische man je 15 Maass Weingeist mit je 5 Maass Wasser und das Gemenge wird 30 Maass auf 400 sich ausdehnen[6]).

Ist die Differenz der Weingeistqualitäten zweier Thermometer bekannt, so kann man eine Art Vergleich der Grade anstellen, aber wie gesagt nur eine Art Vergleich, weil ohne die vielleicht mühsame Rechnung, die schwer sein dürfte, der Vergleich nicht genau sein kann. Eine Beobachtung, die wir bisher noch nicht mitgetheilt haben, die aber einer Bemerkung wohl werth ist, wird uns bald darüber aufklären, warum es schwierig sein wird, die Thermometergrade verschiedener Weingeistsorten auf einander zu reduciren; die Grade der Ausdehnung des Wassers sind nämlich keineswegs nahe proportional den Graden der Ausdehnung des Weingeistes. Um dieses zu erklären und [491] durch ein Beispiel zu erläutern, nehme ich einen Weingeist, der vom Gefrierpunkt des Eises bis zur Siedehitze des Wassers sich um 30 Theile ausdehnt und Wasser, welches in derselben Strecke um 15 Theile zunimmt. Die Summe aller Ausdehnungen der einen Flüssigkeit verhält sich zur Summe aller Ausdehnungen der anderen wie 2 zu 1, aber die Grade, über welche sie sich beide ausdehnen, wenn eine gewisse Wärme wirksam wirkt, stehen nicht nahe in diesem Verhältniss. An einem heissen Sommer-

nachmittag brachte ich 400 Maasstheile Wasser in einen Kolben, und setzte dieselben der künstlichen Gefriertemperatur aus. Diese Kälte bewirkte beim Wasser nur etwa $^1/_2$ Maasstheil Verdichtung. Freilich liess die Contraction des Gefässes diesen Betrag geringer erscheinen, als er wirklich war, aber nach den früheren Versuchen konnte das ja nur $^1/_3$ Maasstheil sein, nehmen wir dennoch auch hierfür $^1/_2$ Maasstheil an. Also das Wasser hatte sich nur um 1 Maasstheil contrahirt. Der Weingeist, mit dem der Vergleich anzustellen war, senkte sich aber um 10 Maasstheile. Während also das Wasser nur um 1 Maass sich zusammenzog, wurde der Weingeist um 10 condensirt, so dass vom Gefrierpunkte an bis zu einer für die Einwohner von Paris beträchtlichen Wärme das Wasser sich nur um 1 Maass ausdehnt, der Weingeist um 10. Das Verhältniss der Ausdehnungen in diesem Intervall ist also wie 1 : 10, während vom Gefrierpunkt bis zur Siedetemperatur des Wassers das Verhältniss 1 : 2 beträgt.

Wenn das Wasser sich so wenig ausdehnt in einer Gradstrecke, in welcher der Weingeist eine beträchtliche Zunahme aufweist; und wenn eine andere grössere Gradstrecke bewirkt, dass der ganzen Gesammtstrecke das Verhältniss 1 : 2 entspricht, so muss es eine Strecke bei höherer Wärme geben, auf welcher die geringe Wirkung der niedrigen Grade compensirt wird. [492] Vielleicht giebt es ein Gebiet, wo das Wasser sich ebenso stark ausdehnt, wie der Weingeist.

Aus alledem muss man schliessen, dass, wenn zwei Thermometer mit Weingeist verschiedener Qualität gefüllt sind, man sich stark irren würde, wenn man das Verhältniss der Grade, die sie in derselben oder in verschieden temperirter Luft anzeigen, aus der Gesammtausdehnung der beiden Weingeistsorten berechnen wollte. Um zu zeigen, wie gross der Fehler werden kann, wollen wir noch ein Beispiel vornehmen, nämlich zwei Thermometer betrachten, deren eines die Volumenzunahme 400 bis 435, das andere mit schwächerem Weingeist oder mit Branntwein gefüllt, 400 bis 425 aufweist; der Gang dieser Thermometer, die Gradstrecken, müssten im Verhältnis von 35 zu 25 stehen. Das wird auch richtig sein, wenn man vom Gefrierpunkt bis zum Punkte des kochenden Wassers die Gradstrecken nimmt. Aber richten wir unsere Aufmerksamkeit auf das Gebiet vom Gefrierpunkte bis zu einer für die Inspiration zu heissen Luft, die immerhin noch weit entfernt ist von der

Wärme, die dem Wasser beim Sieden ertheilt ist[7]). Angenommen, das erste Thermometer mit 1000 Volumtheilen starken Weingeistes zeige 35 Grad an, so wird das andere noch lange nicht 25 anzeigen; denn der schwache Weingeist, der sich um 25 auf 400 ausdehnt, ist ein Gemenge von gleichen Theilen Wasser und Weingeist von der Ausdehnung 35 auf 400. Nehmen wir einstweilen an, die sehr geringe Ausdehnung des Wassers während der Strecke, auf welcher das erste Thermometer 35 Grad durchlaufen hat, sei gleich 0, so wird das zweite Thermometer sich gerade nur soviel ausdehnen, wie wenn es 500 Theile Weingeist der ersteren Qualität hätte. [**493**] Wenn also 1000 Theile 35 Grad in einer gewissen Lufttemperatur anzeigen, so werden 500 Theile, die dem reellen Gehalt an Weingeist im zweiten Thermometer entsprechen, nur 17 $^1/_2$ Grad zeigen; will man den halben oder ganzen Grad hinzufügen, der Wasserausdehnung zu genügen, so erhielte man 18 bis 18 $^1/_2$ Grad; während bei der ganzen Strecke das Verhältniss 35 zu 25 gilt, finden wir hier 35 zu 18 oder 18 $^1/_2$.

Demnach folgt selbst aus dem, was wir soeben mitgetheilt haben, dass man einen gewissen Vergleich zwischen zwei Thermometern mit verschiedenen Weingeistproben, deren Ausdehnbarkeits-Verhältniss bekannt ist, anstellen kann, und dass dieser Vergleich ziemlich genau ausfallen wird, wenn die Grade nicht einer sehr hohen Temperatur angehören; denn kennt man das Verhältniss der Ausdehnungen der beiden Weingeistsorten, so kennt man, nach der obigen Regel, auch die Wassermenge, die, dem stärkeren zugefügt, denselben auf den Zustand des schwächeren brächte, und man betrachtet das Spiel des Thermometers mit schwächerem Weingeist so, als enthielte es nur einen Bruchtheil stärkeren Weingeistes, und zwar einen so grossen, wie man ihn erhält, wenn man vom Totalvolumen die Wassermenge abzieht, wie solches schon in einem Beispiel vorhin durchgeführt wurde. Zwei Beobachter, in entfernten Ländern, wollen ihre Beobachtungen vergleichen, die sie an ihren Thermometern angestellt haben, welche letztere beide 1000 Theile beim Gefrierpunkte enthalten mögen; aber bei dem einen beträgt die Volumenzunahme bis zum Siedepunkte des Wassers 87 $^1/_2$ Grad, bei dem anderen nur 62 $^1/_2$. Man weiss, dass schwacher Weingeist, der sich bloss um 62 $^1/_2$ Grad ausdehnt, nur 500 Theile Weingeist enthielt, deren 400 auf 35 anwachsen; dass mithin, bei Vernachlässigung der Wasser-

ausdehnung, die Grade dieses Thermometers zu denen des anderen sich verhalten müssen wie 500 zu 1000, oder wie 1 zu 2, wozu dann die Ausdehnung der 500 Theile Wasser schätzweise hinzugefügt werden müssten.

[**494**] Hier muss die Bemerkung betont werden, dass alle Tafeln oder Wärme-Grad-Scalen, die man bisher angefertigt hat, und alle, die noch gefertigt werden dürften, uns niemals solche Verhältnisse zwischen den verschiedenen Wärmegraden darstellen werden, die wir als wirkliche Verhältnisse (rapports véritables) ansehen könnten, kurz, dass die Wärmegrade sich nicht so zu einander verhalten, wie die Ausdehnungsgrade verschiedener Flüssigkeiten. Denn begründet man seine Wärmegradscala auf Ausdehnung des Wassers, so würden gewisse Grade einander sehr nahe liegen und sich bloss durch sehr kleine Volumenunterschiede kennzeichnen, die sehr stark abwichen von den Graden der Ausdehnung des Weingeistes. Andere Flüssigkeiten gäben wieder andere Intervalle, und gäben ein anderes Verhältniss für die verschiedenen Wärmegrade.

Wir können hier noch eine weitere Bemerkung nicht unterdrücken, die unserem Gegenstande etwas fern liegt, aber doch auf denselben hinweist, ich meine, dass die Ausdehnbarkeit des spirituösen, des brennbaren Theiles des Weingeistes sehr viel grösser sein dürfte, als sie erscheint, ja vielleicht grösser, als die irgend einer anderen uns bekannten Materie, die Luft nicht ausgenommen. Der stärkste rectificirte Weingeist, der künstlich hergestellt wird, ist noch lange kein reines Oel, frei von allem Phlegma. Die sehr sorgfältigen, von *Geoffroy* jun. angestellten Versuche haben gezeigt, dass Wasser zum grossen Theil, — mehr als die Hällfte seines Gewichtes — aus »sehr gutem« Weingeist, wie man ihn nennt, besteht, ja sie lassen uns vermuthen, dass der Antheil ein noch viel grösserer sei. Wenn wir nun annehmen, dass das Oel, d. h. die brennbare Substanz (la matière inflammable) nur ein Viertel des Weingeistes ausmacht, der beim Gefrierpunkt 400 und bei der Siedehitze 436 Theile hat, so beträgt das Wasser oder das Phlegma $^3/_4$ dieses Volumens. Wenn man nun die Ausdehnung des Phlegma gleich dem unseres Wassers annimmt, was wohl sehr nahe richtig sein wird, [**495**] so findet man für den brennbaren Theil eine Ausdehnung von $24^3/_4$, oder von 99 auf 400; denn 400 Weingeist bestehen dann aus 300 Wasser und 100 Theil Oel oder

brennbare Substanz; die 300 Wasser können sich nur um $11^1/_4$ ausdehnen, da 400 Wasser 15 ergaben. Da die Gesammtausdehnung des Weingeistes 36 war, so müssen die 100 Theile Oel oder brennbare Substanz um $24^3/_4$ sich ausdehnen, sodass die Zahl 36 ergänzt wird.

Wir sind weit entfernt zu glauben, dass wir den Antheil an brennbarer Substanz zu klein angenommen haben, wenn wir $^1/_4$ des Gesammtvolumens dafür ansetzten, ja wir sind selbst geneigt zu glauben, dass die wirklich brennbare Substanz (la matière proprement inflammable) nur den achten Theil ausmacht oder den sechzehnten Theil der Mischung, und werden eher ihm zu viel als zu wenig Antheil zusprechen. Nach der obigen Ueberlegung kann man die Ausdehnbarkeit der brennbaren Substanz in der Siedehitze auswerthen. Beträgt sie z. B. $^1/_8$ des ganzen Volumens, so dehnen sich 100 Theile auf $45^3/_4$ aus, beträgt sie $^1/_{16}$, so ist die Ausdehnung $87^3/_4$. Jetzt sehen wir, dass der brennbare Theil sich beinahe an Volumen verdoppelt in der Siedehitze des Wassers; und wenn es wahr ist, wie viele Physiker zu glauben geneigt sind, dass der Antheil noch kleiner sei, als der zuletzt angenommene, wie weit könnte alsdann die Ausdehnbarkeit gehen, selbst wenn man nur bis zur Siedehitze des Wassers geht? Auch mag die brennbare Substanz eine sehr starke Tendenz zur Ausdehnung besitzen. Welchen Raum nimmt Schiesspulver ein, wenn es sich entzündet oder sich aufs äusserste ausdehnt? [**496**] Ich weiss, dass man die Ausdehnbarkeit der Luft für ebenso gross gehalten hat, wie die des Schiesspulvers, aber die brennbare Substanz ist an und für sich (par elle-même) vielleicht viel ausdehnbarer als Luft. Gewöhnliche Luft dehnt sich nicht stark aus durch kochendes Wasser; und wollte man die Ausdehnbarkeit des Weingeistes der Luft selbst zuschreiben, so müsste man annehmen, dass die in demselben enthaltene Luft stark verdichtet wäre. Obwohl Wasser sehr viel Luft enthält und vielleicht ebensoviel oder noch mehr als Weingeist, so ist das Wasser doch sehr wenig ausdehnbar im Vergleich zum spirituösen Theile des Weingeistes.

Um aber auf unser Thermometer zurückzukommen, so haben wir als nothwendiges Princip anerkannt, dass behufs genauer Graduirung die Röhren dick seien, und dass, je dicker sie sind, um so besser sie sorgfältig graduirt werden können; die Dicke der Röhren erfordert eine entsprechende Vergrösserung der Kugeln. Hier nun können wir nicht leugnen, dass bei

Thermometern mit grossen Kugeln eine Unvollkommenheit zu befürchten ist. Es tritt eine Art Unempfindlichkeit auf im Vergleich zu den Thermometern mit kleinen Kugeln. Ich unterscheide bei Thermometern zwei Arten Empfindlichkeit; die erstere wird bestimmt durch die von der Flüssigkeit zurückgelegten Strecken während einer bestimmten Temperaturänderung der Luft. Da diese Strecke vom Verhältniss des Kugel- und Röhrendurchmessers abhängt, kann sie in Thermometern mit grossen und kleinen Durchmessern gleich gross sein.

Es giebt aber eine andere Art Empfindlichkeit in den Thermometern, die allein so genannt zu werden verdient: denn sie besteht in der That aus einer ausgezeichneten Sensibilität, sofern ein Thermometer, wenn es gegen Aenderungen der Kälte und Wärme in der Luft sensibler ist, uns früher dieselben kund thut. Die Luftthermometer sind in diesem Sinne empfindlicher als die aus Weingeist; die Luft empfängt schneller die Wirkungen der Kälte und Wärme, als selbst der stärkste rectificirte Weingeist. [**497**] Unter den Weingeistthermometern wiederum sind diejenigen, welche kleine Kugeln haben, die empfindlicheren. Die Aenderungen der Temperatur der Luft gehen denen der Thermometer voraus. Wenn die Luft wärmer ist, als die angrenzenden Körper, so giebt sie diesen Wärme ab; die Thermometerkugel theilt der ihr anliegenden Schicht Weingeist die Wärme, die sie empfangen hat, weiter mit. Die erste Schicht Weingeist giebt ihre Wärme der folgenden ab; so wird die Wärme von Schicht zu Schicht mitgetheilt, sie wird im Innern geringer sein als an der Oberfläche, und zwar um so geringer, je grösser der Kugeldurchmesser ist. Es verhält sich hier gerade so wie mit dem Feuer, das man um zwei Gefässe spielen lässt, deren eines gross, das andere klein ist; obwohl man gleichmässig auf beide Gefässflächen das Feuer wirken lässt, wird das Wasser im kleinen früher kochen als im grossen. Und wenn die Kugel eine gewisse Grösse hat, so könnten Aenderungen von kalt zu warm und von warm zu kalt vorkommen, die nicht in ihrem vollen Betrage vom Thermometer angezeigt würden, weil eine ziemlich beträchtliche Zeit erforderlich wäre, bis der Weingeist in der Mitte der Kugel die äussere Temperatur angenommen hätte; und wenn schon vorher die Luft sich wieder abkühlte, so würde auch die Flüssigkeit der Kugel sich wieder zusammenziehen, ehe sie die Temperatur der äusseren Luft

angenommen haben würde. Die Uebergänge von kalt zu warm sind zuweilen so plötzlich und die uns umgebende Luft bleibt so kurze Zeit in demselben Zustande, dass selbst Thermometer mit kleinen Kugeln nur selten den ganzen Spielraum von kalt zu warm in der Luft anzeigen, und dieser Uebelstand ist noch grösser bei Thermometern mit grossen Kugeln.

Aber die Abhülfe gegen diesen Mangel der grosskugeligen Thermometer ist sehr einfach. Es ist durchaus nicht nothwendig, dass die sogenannte Kugel des Thermometers [**498**] eine Kugel sei. Jede Gestalt ist zulässig. Das Wesentliche ist die Capacität. Gäbe man die Form eines abgeflachten Behälters oder einer Linse, deren Wände einander näher stehen, als die der kleinen Kugeln, und die grosskügeligen Thermometer werden ebenso empfindlich geworden sein, und selbst noch empfindlicher als die mit kleinen Kugeln. Je flacher die Behälter, um so empfindlicher wird die Gattung ausfallen. Man kann dieses nach Belieben einrichten; denn wenn man die Behälter grösser nimmt, hat man doch stets eine genügende Capacität in der Gewalt. Freilich sobald sie solch eine Gestalt haben sollen, wird man sie nicht von gewöhnlichen Glasbläsern erhalten können; aber denen, die Thermometer brauchen, ist es völlig gleichgültig, ob man aus den Glasfabriken Behälter *und* Röhren bezieht oder wie bisher *nur* Röhren. Wenn übrigens die Kugeln nicht mehr als 4 Zoll Durchmesser haben, so wird der Gang nicht viel hinter dem mit kleiner Kugel zurückbleiben, es wird, nach meinen Versuchen zu urtheilen, nicht eine Viertelstunde, ja nicht einmal eine halbe Viertelstunde dauern. Statt den flachen Behälter durch eine Kugel von grossem Durchmesser zu ersetzen, kann man sehr wohl die Cylinderform wählen. Es könnte eine dicke Röhre sein, die nur solchen Durchmesser hat wie kleine Thermometerkugeln und selbst noch geringeren. Die Höhe wird je nach der Capacität berechnet, die gewünscht wird.

Die grössere oder geringere Empfindlichkeit zweiter Art wird zuweilen der Grund des verschiedenen Ganges der Thermometer sein. Wenn in zwei Stunden in der Luft eine Temperaturänderung eintritt, die $2^1/_2$ Grad Aenderung des Flüssigkeitsstandes bewirkt, so wird ein empfindliches Thermometer diese $2^1/_2$ Grad anzeigen, während das unempfindlichere vielleicht nur einen Grad gestiegen ist. [**499**] Bleibt aber die Wärme der Luft einige Zeit beständig, so verharrt das erstere

auf demselben Punkte, während das zweite nachfolgt. Daraus erhellt, dass die Tagesstunden, die am wenigsten zweifelhafte Angaben über die Temperatur der Luft durch die Thermometer ergeben, diejenigen sind, wo die Flüssigkeit etwa eine Viertelstunde stationär geblieben ist.

Herr *Taglini*, Professor in Pisa, hat im Jahre 1725 eine Dissertation (thèse) über Thermometer drucken lassen, die ganz anders geartet ist, als diejenigen, die oft in unseren Instituten (collèges) erscheinen; sie hat die Form einer Dissertation nur durch ihre Thesen (positions). Es ist eine kleine Arbeit, in der sorgfältig Alles gesammelt und besprochen ist, was sich auf Thermometer bezieht. Doch können wir nicht allen Behauptungen beistimmen, namentlich nicht der letzten, sie läuft stracks den Principien entgegen, die wir der Construction der Thermometer zu Grunde gelegt haben, um vergleichbare Grade zu erhalten; ja sie benimmt alle Hoffnung, jemals dieses Ziel erreichen zu lassen. Er stellt die Behauptung auf, dass die festen Punkte, die man bisher gesucht hat, noch nicht gefunden seien und dass es unmöglich sei, solche zu finden. Von den zweien jedoch, die wir als feste Punkte angenommen haben, wird nur der eine angegriffen, der Siedepunkt des Wassers. Er bekämpft zwar auch den festen Punkt, der durch die Kälte des Eises erhalten wird, und selbst den durch Gefrieren in kalter Luft. Aber gegen die künstliche Eisbildung in einer Luft, die sogleich das natürliche Eis schmelzen würde, bringt er nichts vor, und wir glauben oben gezeigt zu haben, dass der Kältegrad dieses künstlichen Eises nicht verwechselt werden darf mit dem aller anderen Arten von Eis, und dass es ein fester Punkt sei. Uebrigens wollen wir bekennen, dass dieser Eispunkt uns nicht fester zu sein scheint als der Siedepunkt des Wassers, den Herr *Taglini* gar nicht als solchen anerkennt und den ich für unanfechtbar halte. Selbst die Theorie sollte uns lehren, dass, wenn wir einen Fixpunkt brauchen, wir ihn hier finden können. [**500**] Aber zu unserer Schande kommt es oft vor, dass wir ziemlich spät angestellten Versuchen Kenntnisse verdanken, die weit früher die Ueberlegung uns vermittelt haben müsste. Ohne Physiker zu sein, hat man stets gewusst, dass siedendes Wasser weniger warm ist als siedendes Oel, als Blei, als Kupfer, als Eisen, als Silber, die geschmolzen und erwärmt sind bis sie sieden (fondus jusqu'à bouïllir). Man hat also stets gewusst, dass es Temperaturen giebt, die das Wasser nimmer erreichen kann; folglich giebt

es eine solche Temperatur, die das Wasser nicht überschreiten kann, und das muss mithin ein Fixpunkt sein. Vielleicht war es unrichtig zu glauben, das Wasser habe diesen Punkt bereits erreicht, sobald einiges Aufkochen beginnt. Das allein könnte das Experiment des Herrn *Taglini* beweisen, als er sah, dass das in der Kugel mit angeschmolzener Röhre befindliche Wasser sich nur bis zu einer gewissen Höhe erhob, wenn die Kugel sich in einem Topf mit kochendem Wasser befand, und dass, wenn letzteres heftiger zu sieden veranlasst wurde, das Wasser in der Röhre noch höher emporstieg und zwar so hoch, dass es bereits aus der Röhre hervortrat. Wäre der Durchmesser der Kugel kleiner gewesen im Verhältniss zu dem der Röhre, oder wäre die Röhre länger gewesen, so wäre das Wasser sehr wohl darin geblieben; und bei einem gewissen Punkte angelangt, wäre es bei demselben stehen geblieben, wie stark auch das Wasser im Topf zum Kochen gebracht wäre. Das habe ich geprüft an Kugeln von $4^1/_2$ Zoll Durchmesser, die mit 6 Fuss langen Röhren versehen waren. Auch fand ich, dass die Kugel sehr lange im siedenden Wasser stehen musste, bis das Wasser im Rohre seinen höchsten Punkt erreichte, mindestens eine Viertelstunde, weil das Wasser beim Aufsteigen in die Röhre sich abkühlt.

Der gelehrte Professor hat keinen Grund beigebracht, warum man an der Beständigkeit des Siedepunktes des Wassers zweifeln sollte oder auch nur an der Möglichkeit ihn zu erfassen. Er bemerkt, wie sehr die Wasserarten sich verschieden verhalten; dass die Differenz ihrer Gewichte bekannt sei [501] und wir daraus auf ihre Zusammensetzung Schlüsse ziehen müssen; und dass daraus hervorgehe, dass der Wärmegrad, der hinreicht, um ein gewisses Wasser zum Sieden zu bringen, zu niedrig oder zu hoch sei für andere. Das scheint allerdings sehr wahr zu sein: aber sollen wir daraus schliessen, dass wir durch das Gewicht oder durch andere Grössen das Wasser bezeichnen sollen, dessen wir uns bedienen zur Bestimmung des festen Wärmegrades für das Sieden, wie wir solches für Weingeist gethan haben? Im äussersten Nothfalle hätten wir uns darauf eingelassen: es scheint aber, dass diese Vorsicht überflüssig gewesen wäre. Bedient man sich gemeinen Wassers, so wird man keine merklichen Unterschiede beim Sieden bei dieser oder jener Art finden. Handelt es sich um ein augenscheinliches Messen (mesures sensibles), so brauchen wir auch nur augenscheinliche Gleichheiten (égalités sensibles).

Es würde sich sicherlich die Unmöglichkeit zeigen, völlig genaue Maasse zu erhalten, welcher Art sie auch seien; vielleicht hat es noch nie zwei völlig gleiche Markgewichte oder Ellen gegeben. Maasse, die man ganz gleich anfertigt, wären es nicht mehr, je nachdem die Wärme, Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft auf sie wirkte. Doch haben wir viele Maasse von einer uns genügenden Genauigkeit, weil keine Ungleichheiten von Belang daraus hervorgehen.

Nach alledem muss ich frei bekennen, dass ich nicht erwarte, man werde viele Thermometer verfertigen, deren Grade völlig gleich oder völlig proportional seien. Die gewöhnlichen Barometer, so einfach ihr Bau ist, haben nicht stets völlig gleichen Gang; aber man wird leicht Thermometer anfertigen, die nur wenig differiren und die uns eine Vorstellung der Kälte- und Wärmegrade geben, fast so genau, wie wir ihrer bedürfen. Mit diesen Instrumenten wird es sich ebenso verhalten wie mit allen anderen Erzeugnissen der Kunst, man wird sie um so vollkommener herstellen, je mehr Aufmerksamkeit man bei der Anfertigung verwendet und je geschicktere und geübtere Hände sich damit befassen. Die Thermometer, die ich habe anfertigen lassen, weichen in dem Verhältniss ihres Ganges (dans les rapports de leur marche) nicht mehr als um $^1/_4$ Grad von einander ab, und sicherlich werden tausend Leute bessere anfertigen, als ich sie habe machen lassen. [**502**] Wenn man endlich nicht alle zur Vollkommenheit der Thermometer erforderlichen Bedingungen in äusserster Exactheit erfüllen kann, so wird man sich dem Ziele stets nähern, man wird Thermometer haben von weit sichererem Werthe, als es die gebräuchlichen sind, bei denen Alles unbekannt ist, die Capacität der Kugeln, der Röhren, der Werth der Gradtheile und die Qualität der Flüssigkeit.

Wenn die Grösse unserer Thermometer missfällt, so kann man mit ihrer Hilfe ganz kleine construiren, deren Graduirung proportional der der grossen wäre; man fülle sie mit demselben Weingeist und bediene sich der grossen als Norm (étalon) für die kleinen. Man kann auch ziemlich kleine Thermometer verfertigen, indem man sie gerade so graduirt, wie wir es für die grossen angegeben haben, nur würde die Eintheilung bloss von 5 zu 5 Grad genau gemacht werden; statt sie mit einer Maasseinheit zu graduiren, wird man ein Maassglas von 5 Theilen anwenden. Alle Punkte von 5 zu 5 Grad werden also genau bestimmt sein. Eine jede dieser Strecken wird man

in 5 Theile theilen, um ebensoviel Zwischengrade zu erhalten, und diese Methode wird keine merklichen Fehler bedingen.

Wenn man übrigens die Existenz und sogar die Möglichkeit fester Wärmegrade hat leugnen wollen, so hat man dabei vergessen, dass die Pariser Physiker einen sehr bequemen besitzen in den Kellern des Observatoriums. Das ist wirklich eine sehr bemerkenswerthe Thatsache, und eine solche, die man nicht hätte voraussehen können, dass Keller, die nicht einmal sehr tief liegen und von nicht bedeutender Ausdehnung sind, deren Communicationen mit der Aussenluft man nicht zu hindern sich bemüht hat, eine Luft von nicht merklich veränderlicher Temperatur einschliessen. Die Beobachtungen sind dennoch entscheidend; Herr *de la Hire* hat gefunden, dass in der Zeit grösster Sonnenhitze, sowie im strengen Winter von 1709 die Flüssigkeit im Thermometer ziemlich beständig (assez constamment) auf demselben Grade stand; [**503**] auch ist diese Temperatur der Observatoriumskeller einer der Punkte, der sorgfältig auf den besseren bisher angefertigten Thermometern bezeichnet worden ist. Zu den ersten Nutzanwendungen der nach unseren Methoden construirten Thermometer gehörte die Bestimmung jenes festen Punktes. Man fand den Wärmegrad der Keller zu $10^1/_4$ Grad über dem Gefrierpunkt an einem Thermometer, dessen beim künstlichen Gefrieren des Wassers verdichtetes Volumen 1000 betrug, welches Volumen in der Siedehitze des Wassers sich auf 1080 ausdehnte, oder was dasselbe ist, das beim Gefrieren des Wassers auf 1000 reducirte Volumen beträgt $1010^1/_4$ in den Kellerräumen des Observatoriums[8]).

Wir können ebenso mit Hülfe der neuen Thermometer die früher angestellten Beobachtungen mit Thermometern, die noch vorhanden sind, wie das des Herrn *de la Hire*, dessen man sich seit so vielen Jahren bedient hat, auf bekannte und vergleichbare Grade zurückführen.

Als wir nun die Construction der Thermometer im Auge hatten, meinten wir, es solle die Luft, die in der Röhre eingeschlossen wird, nicht allzustark verdünnt sein, andererseits aber solle sie auch nicht in der bei niedriger Temperatur vorhandenen Dichte belassen werden; uns erschien es richtiger, eine Dichtigkeit zu wählen, die ungefähr der an sehr heissen Tagen vorhandenen gleichkommt. Es ist leicht, solche Wahl zu begründen. Wenn der Weingeist sich ausdehnt, strebt auch die in demselben enthaltene Luft sich zu verdünnen;

mithin wirkt sie der Ausdehnung des Weingeistes entgegen; letztere kann nicht zu Stande kommen, ohne die Luft zu verdichten, in Folge dessen die Röhre oder die Kugel zerbrechen dürfte bei hohem Wärmegrade. Noch ein viel misslicherer Umstand tritt ein, wenn sehr dünne Luft eingeschlossen worden ist. Die im Weingeist vorhandene Luft kann sich leicht aus demselben heraus entwickeln; und wenn das geschieht, [**504**], so ist der Weingeist nicht mehr genau derselbe, wie der, dessen Qualität man bestimmt hat. Dass in der That die Luft aus dem Weingeist entweicht, wenn derselbe von gar zu verdünnter Luft, also von einer Art Vacuum umgeben ist, das hat eine Beobachtung an unsern Thermometern deutlich gezeigt. Nachdem der Weingeist in der Kugel eines Thermometers beinahe bis zur Siedehitze des Wassers erwärmt worden war, legte ich dasselbe horizontal hin und liess es in dieser Lage erkalten. Bald nahm das Weingeistvolumen in der Kugel ab; der leere Raum, der sonst in der Röhre entsteht, trat jetzt an der höchsten Stelle der Kugel ein; er wuchs zusehends, nahm ein beträchtliches, immer wachsendes Kugelsegment ein. Aber in dem Maasse, als dieses anwuchs, sah ich fortwährend kleine Bläschen an allen Stellen der Weingeistoberfläche hervortreten, die dann mit der grossen Luftblase sich vereinigten. Diese Blasen konnten nur Luft sein, die sich aus dem Weingeist entwickelte. Nach dieser Beobachtung stellten wir noch viele andere an, die wir hier nicht mittheilen können, ohne die bereits sehr lang ausgefallene Abhandlung noch beträchtlich zu erweitern; in ganzer Ausführlichkeit dürfen wir sie nicht mittheilen; doch sind sie an sich wohl beachtenswerth, und zudem führen sie uns zu einer Construction von Thermometern, die nicht so leicht in Unordnung gerathen können, wie solches stets an den bisherigen sich ereignet hat, selbst die unserigen nicht ausgenommen[9]).

Wir wollen nur die Quelle dieser Störungen andeuten. Man ist nie sicher, ob ein Thermometer nach mehreren Jahren, oder selbst nach kürzerer Zeit, ebenso beschaffen ist, wie zur Zeit seiner Construction. Der Weingeist kann im Laufe der Zeit ganz allmählich seine Luft verlieren, diese Luft, die in dem soeben beschriebenen Versuche in kurzer Zeit entwich; vielleicht erheben sich sogar einige der spirituösesten Theile des Weingeistes in die Röhre [**505**] und verharren daselbst als Dampf, vielleicht nimmt auch der Weingeist die vorher entwichene Luft wieder in sich auf, ebenso wie wir sehen,

dass Wasser mit der Zeit die während des Siedens vertriebene Luft wieder aufnimmt; und vielleicht treten die spirituösen Theile, die sich aus dem Weingeist entwickelt hatten, wieder in letzteren zurück, so dass dieser Art eine gewisse Circulation in dem Weingeist entsteht, der, weil er eingeschlossen ist, immer in nahe demselben Zustande sich erhält. Bis jetzt war dieses Alles schwer zu entscheiden, und vielleicht gelingt es uns in Zukunft. Man brauchte nur die Kugel eines grossen Thermometers dem künstlichen Gefrieren des Wassers auszusetzen, die Flüssigkeit in der Röhre wird bei der entsprechenden Marke stehen, wenn keine Veränderung im Thermometer seit seiner Anfertigung eingetreten war; ist solches aber wohl geschehen, so wird die Flüssigkeit niedriger oder höher stehen, je nach der Art der Veränderungen. So hat man also eine Methode, sich stets des Zustandes, in dem das Instrument sich befindet, zu vergewissern und es zu verificiren, und man weiss, wie weit man den mit demselben angestellten Beobachtungen Vertrauen schenken darf.

Es wäre zu wünschen, dass die Physiker verschiedener Länder Thermometer solcher Art erhielten, dann würden ihre Beobachtungen uns Kunde geben von der grössten Hitze und grössten Kälte verschiedener Klimate. Man wird nicht überall im Stande sein, die Behälter oder Kugeln an die Röhren anblasen zu lassen; wenn man aber auch nur Röhren hat, und ein wenig Geschick vorhanden ist, was doch schwerlich denjenigen, die solche Untersuchungen lieben, fehlen wird, so kann man sich leicht selbst ein Thermometer construiren. Man kann die Röhre auf einer Flasche von passender Grösse befestigen. Ist man in Verlegenheit, wie man den Flaschenhals an das untere Ende der Röhre anschmelzen soll, so kann man Kitt anwenden oder ein Klebemittel, auf welches Weingeist unwirksam ist; Gummi arabicum, Fischleim, die so leicht sich in Wasser lösen, thun dieses nicht in Weingeist. [506] Ich habe mit beiden Stoffen Röhren mit Flaschen verkittet, um Thermometer zu fabriciren. Man sollte glauben, sie würden sich als dauerhaft erweisen; doch kann solches nur die Zeit lehren, und noch bin ich darüber nicht unterrichtet. Aeusserlich muss man aber stets einen Firniss anwenden in einigen Schichten; diese widerstehen der Feuchtigkeit und schützen die Oberfläche des Kittes: gewöhnlicher Lackfirniss genügt.

Aber vergeblich wird man in verschiedenen Ländern nach unserer Methode wohlconstruirte Thermometer mit ver-

gleichbaren Graden haben, und die Vergleichung der Kälte und Wärme der verschiedenen Länder und Jahreszeiten wird nie genau ausfallen, wenn diejenigen, die sich mit den Beobachtungen befassen und dieselben dem Publikum mittheilen wollen, nicht aufmerksam sind bei der Wahl der Plätze, an welchen sie ihre Thermometer aufstellen, und zwar einige Zeit vordem der Gang beobachtet wird (quelque temps avant d'observer leur marche). In ein und derselben Stadt, in ein und demselben Hause wird man gleichzeitig grosse Verschiedenheiten an den Thermometern finden, welch letztere gleich ständen, wenn sie sich neben einander befänden. Die Flüssigkeit der Thermometer in den Zimmern, die nicht geheizt werden, werden doch sehr anders einstehen im Vergleich zu denen in freier Luft; an gewissen Tagen werden letztere 8 bis 10 Grad steigen und fallen, während jene kaum einen Grad anzeigen. Es ist also durchaus erforderlich, dass der Beobachter sein Thermometer der Aussenluft aussetze[10]. Er muss eine Stelle nach Norden zu wählen, und zwar so, dass die Sonne in keiner Tagesstunde den Platz bescheine. Und selbst dieses genügt noch nicht, wenn er nicht neben den Beobachtungen darüber berichtet, ob es in der Nähe Mauern giebt, die die Sonnenstrahlen auf das Thermometer reflectiren, oder ob solche nicht vorhanden sind; ferner, ob das Thermometer am ersten, zweiten oder dritten Stockwerk angebracht ist. Alle diese Mittheilungen sind wesentlich, wenn man Vergleiche anstellen will. [**507**] Im Sommer habe ich zwei Thermometer gesehen, die in verschiedenen Häusern in freier Luft, nach Norden zu, angebracht waren, und das eine stand an Tagen mit Sonnenschein 1 bis $1^1/_2$ Grad höher als das andere, weil die umgebende Luft durch Reflexion von nahegelegenen Mauern erwärmt war. Auch habe ich an warmen Tagen beobachtet, dass das Thermometer am Fenster des Erdgeschosses 1 Grad niedriger stand, als dasjenige am ersten Stockwerk, während beide Fenster genau über einander standen. Dennoch waren beide Thermometer von neuer Construction und zeigten neben einander gleichen Stand. Auch die vollkommensten Instrumente müssen mit Geschick und Umsicht gebraucht werden.

[250]

II.

Zweite Abhandlung über die Construction der Thermometer mit vergleichbaren Graden,

nebst Versuchen und Bemerkungen über einige Eigenschaften der Luft.

Von

René Antoine Ferchault de Réaumur.

Gelesen am 6. Juni 1731 (Mém. 1731).

So lange die Thermometergrade fast willkürlich genommen wurden, so lange verschiedene Thermometer dieselben Aenderungen der Kälte und Wärme durch ungleiche Grade ausdrückten, war es ziemlich überflüssig, einige Unvollkommenheiten zu beseitigen, die, selbst wenn sie beträchtlich waren, doch geringfügig erschienen im Vergleich zu denen, die wesentlich in der Construction wurzeln. Jetzt aber, wo wir Principien haben, nach denen Thermometer mit gleichem Gange angefertigt werden können, wenn sie gleichen Veränderungen der Kälte und Wärme ausgesetzt sind, die auch geeignet sein werden, die Wärme- und Kältegrade verschiedener Jahreszeiten und verschiedener Klimate vergleichbar darzustellen, jetzt begingen wir ein Unrecht, wenn wir nicht alle erdenkbaren Verbesserungen anbrächten, wenn wir nicht alle Hindernisse eines regelrechten Ganges fortschafften, sobald solche entdeckt werden.

In der Abhandlung*), deren Fortsetzung hier vorliegt, haben wir die zur Construction von Thermometern mit gleichförmigem Gange erforderlichen Principien niedergelegt und wir haben das Verfahren zur Herstellung beschrieben. Nur über einen Gegenstand haben wir [251] uns noch nicht ausgesprochen, auf welchen zurückzukommen wir in Aussicht stellten; ich meine die beim Verschliessen der Röhre nöthigen Vorsichtsmaassregeln. In aller erforderlichen Ausführlichkeit konnte die Frage nicht erörtert werden in einer ohnehin schon sehr umfangreichen Abhandlung; vielmehr wird sie Stoff zu zwei ferneren Abhandlungen bieten, da wir zu verschiedenen Versuchen angeregt wurden, die nicht nur zur Verbesserung der Thermometer führten, sondern auch an und für sich interessante Thatsachen aufdeckten und wenig bekannte Erscheinungen aufhellen, die den Physikern als eigenthümlich wohlbekannt sind.

Wir handeln also von Thermometern, deren Construction in der ersten Abhandlung mitgetheilt ist. Alle kleinen praktischen Handgriffe braucht man hier nicht im Auge zu haben, wesentlich erscheint es die charakteristischen Principien der Construction in Erinnerung zu bringen. Die Gestalt ist die der gewöhnlichen Weingeistthermometer; sie haben eine Kugel oder ein Glasgefäss, an welches ein gerades Glasrohr angeschmelzt ist; aber statt eines beliebigen, zufälligen Weingeistes, eines bald starken, bald schwachen, bald eines Branntweines oder ganz unbekannten, haben die neuen Thermometer ein und denselben Weingeist oder mindestens einen von bekannter Beschaffenheit, die durch die Ausdehnbarkeit bestimmt wird. Vorzüglich ward ein solcher Weingeist angewandt, welcher bei 1000 Theilen beim Gefrieren des Wassers um 80 Volumtheile zunahm bei dem höchsten Wärmegrade, den siedendes Wasser ihm mittheilen kann, ohne dass er selbst kocht. Die Gefriertemperatur, die Kälte der beginnenden Eisbildung [252], wie sie künstlich im Sommer erzeugt werden kann und die wir den künstlichen Gefrierpunkt nannten, ist der Ausgangspunkt der Zählung der Thermometergrade. Zwei Theilungen sind angebracht, die eine nach oben, die andere unter den Gefrierpunkt. Die erste zeigt die Ausdehnung des Weingeistes an und heisst die der Dilatationsgrade. Die absteigende zeigt den Grad der Contraction an unter das Volumen

*) Mém. de l'acad. 1730 pag. 452. (Seite 19 dieses Heftes d. Kl.)

beim Gefrierpunkte und heisst die der Condensationsgrade.

Der wahre Charakter dieser Art Thermometer besteht aber darin, dass die Grade nicht willkürlichen Röhrenstrecken entsprechen; vielmehr haben alle Grade gleiches und zwar ein bekanntes Volumen, nämlich den tausendsten Theil des beim Gefrierpunkt genommenen Weingeistes. Wenn also der letztere sich um 20 Grade erhoben hat, so ist das anfängliche Volumen 1000 nunmehr gleich 1020 geworden, es hat sich mithin um 20 Theile ausgedehnt. Steht der Weingeist 10 Grade unter dem Gefrierpunkt, so weiss man, dass das Volumen jetzt nur noch 990 Theile beträgt, es hat sich also um 10 Theile verdichtet.

Wir setzen nun die Handgriffe zur Verfertigung solcher Thermometer als bekannt voraus, oder wir nehmen an, dass wir, im Besitze solcher, nur noch das obere Ende zu verschliessen haben: denn ich frage nicht mehr, ob der Verschluss überhaupt nöthig sei. Die ersten Thermometer waren sehr unvollkommen, wie alle neuen Kunstproducte, auch liess man das Ende offen; man verschloss sie alsdann um der Dauerhaftigkeit und des Transportes willen: denn man wusste stets, dass Weingeist in einem offenen Glase nicht seine Stärke behält.

[**253**] Aber die in der vorigen Abhandlung aufgeworfene und auf die vorliegende aufgeschobene Frage war folgende: Soll in dem oberen Röhrenende eine Luft von der Dichtigkeit der gewöhnlichen, oder soll eine sehr verdünnte Luft darin belassen werden. Ist das Thermometer im Winter gefertigt, und man belässt in demselben gewöhnliche Luft, so ist das Risico für die wärmere Jahreszeit offenbar; die Flüssigkeit wird immer stärker, je höher sie sich erhebt, die Luft zusammendrücken, die ohnehin schon mehr Raum einzunehmen bestrebt ist als in dem Augenblick des Verschliessens; die dünne Thermometerkugel wird nicht widerstehen; sie wird selbst in mässig warmer Luft zerbrechen können, sobald die Flüssigkeit durch die Sommerwärme sich ausgedehnt haben wird.

Dieser Umstand ist nicht zu befürchten, wenn die eingeschlossene Luft sehr verdünnt und der ihr dargebotene Raum viel grösser ist, als er draussen sein würde. Es ist leicht, im Thermometer eine beliebig kleine Luftmenge einzuschliessen, besonders wenn man das obere Röhrenende ausgezogen hat bis zu einigen Zollen Länge. Es bleibt aber zu erforschen

übrig, ob ein solches Thermometer mit geringem Lufteinschluss nicht andere Veränderungen erfahren hat; vielleicht ist es nicht einmal gewiss, ob es mit der Zeit der Gefahr des Zerbrechens ausgesetzt ist, wegen der gar zu dünnen Luft.

Ein einziger, aber oft wiederholter Versuch wird uns Alles, was bei starker Verdünnung zu befürchten ist, aufdecken und wird uns weisen, wie wir Thermometer mit dem zu fordernden Gange construiren müssen, die keine Gefahr laufen zu zerbrechen oder sich zu verändern, weder durch Wärme, noch durch Kälte.

Früher neigte ich dazu, einen [**254**] mittleren Zustand der eingeschlossenen Luft zu wählen, die etwa einmal oder zweimal so dünn wäre wie die gewöhnliche Luft. Zu dem Zwecke tauchte ich die Kugel in warmes Wasser, so dass der Weingeist ganz oben stand. Dann entfernte ich sie aus dem Wasser, verschloss aber die Röhre erst, nachdem die gewünschte Luftmenge wieder eingetreten war.

Nachdem ich in dieser Weise mehrere Thermometer verschlossen und genügende Zeit hatte verstreichen lassen bis zu einem der Aussentemperatur entsprechenden Stande, nahm ich Vergleiche mit anderen vor, deren obere Enden offen geblieben waren, und nahm Differenzen wahr, wie ich solche nicht erwartet hatte. Die verschlossenen Thermometer standen bisweilen 4 bis 5 Grade höher als die anderen, mindestens aber 2 Grade. Freilich kamen sie Tag für Tag einander näher, und zwar dem wahren Stande: solche die zuerst 4 bis 5 Grad abwichen, standen am folgenden Tage nur 3 bis 4 Grad zu hoch und am dritten Tage nur 2 bis 3 Grad. So änderte sich der Ueberschuss von Tag zu Tag, aber immer weniger und nicht so stark, wie an den ersten Tagen. In einem Thermometer stand die Flüssigkeit noch nach 3 bis 4 Wochen um einen Grad zu hoch.

Der Grund dieser Erhebung bot sich zum Theil demjenigen dar, der täglich die neuverschlossenen Thermometer beobachtete; wenn dieselben 24 Stunden aufgehängt gewesen waren und man sie berührte und namentlich neigte, sah man eine grosse Blase aus der Kugel in die Röhre aufsteigen; dieselbe war bald grösser, bald kleiner; zuweilen betrug das Volumen derselben nur einen Bruchtheil eines Grades, [**255**] dann wieder einen vollen Grad, oder sogar mehrere Grade; das Volumen ein und derselben Blase war nicht ganz beständig, sondern nahm zu beim Aufsteigen derselben.

Wenn endlich die Blase an die Oberfläche kam, sank der Weingeist in der Röhre, dennoch blieb er höher stehen, als in gut gebauten Thermometern. Vergeblich suchte ich noch Blasen aufsteigen zu lassen, jetzt wenigstens gelang es nicht. Dennoch konnte man nicht zweifeln, dass der noch übrige Rest der Erhebung der eingeschlossenen Luft zuzuschreiben sei; aber diese Luft, die scheinbar eine Volumzunahme dem Weingeist ertheilte, bewirkte sie thatsächlich eine solche? ich meine, war die Volumzunahme einer neuen Luftmenge zuzuschreiben, die hinzukam und sich mit dem Weingeist vereinigte? Wir wissen, wie stark Weingeist, Wasser und mehrere andere Flüssigkeiten mit Luft beladen sind, und dass diese Menge von gewissen Umständen abhängt. Wir wissen z. B., dass beim Kochen des Wassers ein Theil der eingeschlossenen Luft ausgetrieben wird. Dasselbe findet bei siedendem Weingeist statt und das spricht wohl nicht dafür, dass jene Volumzunahme unseres Thermometers auf neu aufgenommene Luftmengen zurückzuführen sei, denn der einzige Unterschied zwischen der Behandlung des Weingeistes in unserem Thermometer gegen die der anderen war die stärkere Erwärmung vor dem Abschliessen; denn die letzteren waren nicht zuvor so stark erwärmt worden. Also ist es wohl viel wahrscheinlicher, dass man einen Theil der eingeschlossenen Luft fortgenommen, und nicht, dass man solche zugefügt hätte.

Auch hatte dieser Weingeist gewiss an Luft einen Theil eingebüsst, aber die Art, wie die verbliebene Luftmenge vertheilt war, ist die Ursache des beobachteten Effectes. [**256**] Ein am Ende der vorigen Abhandlung mitgetheiltes Experiment vermittelt uns die richtige Vorstellung, und andere Versuche werden dieses bestätigen, soweit man mit Versuchen etwas beweisen kann.

Der hier gemeinte Versuch besteht darin, dass man ein Thermometer, nachdem es aus warmem Wasser entfernt ist, nicht in verticaler, wie gewöhnlich, sondern in fast horizontaler Lage abkühlen lässt, d. h. so dass der obere Theil der Kugel eben so hoch steht, wie das Rohrende, oder letzteres noch überragt. Sobald das Weingeistvolumen bei der Abkühlung abnimmt, entsteht der leere Raum nicht in der Röhre, sondern im oberen Raume der Kugel. Ich beobachtete das Wachsthum dieses leeren Raumes und bemerkte, wie von allen Seiten Bläschen der Oberfläche zueilten, besonders an den

Rändern der letzteren, wo sie deutlich barsten und sich mit dem übrigen Raume vereinigten, von welchem der Weingeist allmählich zurückgetreten war. Diese hier eingeschlossene Luft wollen wir noch nicht untersuchen; wir wollen vielmehr nur eines bemerken, die Thatsache, dass Weingeist, der nicht unter dem Drucke der Atmosphäre steht und sich abkühlt, solche Luftbläschen entwickelt; dass diese äusserst kleinen Bläschen, wenn sie an der Oberfläche anlangen, vielleicht selbst aus Tausenden noch kleinerer Bläschen entstanden sind. Entweicht eine Blase aus der Tiefe oder aus der Mitte der Flüssigkeit, so vereinigen sich alle, die sie unterwegs findet, mit ihr, so dass bei ihrer Ankunft, trotz einer Kleinheit, dass man sie gerade noch wahrnehmen kann, sie doch als von einer grossen Anzahl anderer zusammengesetzt angesehen werden muss, einer so grossen Zahl, wie man sie sich kaum vorstellen kann. Wenn wir die Kleinheit der sozusagen elementaren Bläschen besonders betonen, so soll darauf hingewiesen werden, dass unter den Bläschen, die sich vom Weingeist abgetrennt haben und nicht mehr einen Körper mit ihm bilden, [**257**] es noch Tausende geben kann, die sich nicht zur Oberfläche erheben können; ihre Tendenz sich zu erheben vermag nicht den Widerstand zu überwinden, der sowohl von ihrer Adhäsion an die Theilchen des Weingeistes als von der Reibung an denselben abhängt und von der Schwierigkeit, die unterwegs angetroffenen Flüssigkeitstheile zu trennen. Kurz, in Folge ihrer Kleinheit verbleiben sie im Weingeist, sowie sehr grosse Blasen in einer fetten Flüssigkeit aufgehalten werden.

Denken wir uns nun Tausende solcher Bläschen in unserem Weingeist zerstreut, so begreifen wir, dass das Volumen desselben vergrössert ist. Diese im Weingeist bleibende Luft nimmt weit mehr Raum ein, denn zuvor, als sie mit ihm noch einen Körper bildete. Ohne Zweifel muss das Volumen des Weingeistes jetzt grösser sein. Man kann höchstens unschlüssig darüber sein, ob die Flüssigkeit wirklich mit solchen Bläschen erfüllt ist, die nicht mehr mit ihr verbunden sind. Wir haben die Möglichkeit dargethan, jetzt wollen wir den Beweis geben.

Die Physiker wissen, dass Weingeist, Wasser und überhaupt Flüssigkeiten incompressibel sind; sie verwundern sich darüber, bewundern aber vielleicht nicht weniger die Compressibilität der Luft. Aber sie wissen auch, dass diese Flüssigkeiten, obwohl sie nicht compressibel sind, doch eine

grosse Menge Luft eingeschlossen enthalten; und dass diese eingeschlossene Luft ebenso wenig compressibel erscheint, wie die mit ihr vereinte Flüssigkeit; bei der Vereinigung ist die Zusammendrückbarkeit geschwunden. Wenn eine Flüssigkeit unter Umständen compressibel ist, so muss sie eine compressible Substanz enthalten; kurz, wenn unter Umständen unser Thermometer-Weingeist zusammendrückbar ist, so muss er Luft enthalten, die die Eigenschaft der Compressibilität beibehalten hat, mithin nicht einen Körper bildet mit dem Weingeist. [**258**] Dass das in unserem Falle sich so verhält, beweisen folgende Versuche:

Man beobachte den erhöhten Stand und vergleiche denselben mit dem eines gut graduirten Thermometers. Der Unterschied betrage z. B. 3 Grad; nun öffne man das Thermometer, welches zu hoch steht, und augenblicklich wird die Flüssigkeit hinabsteigen; und zwar mehr oder weniger, je nachdem die Luft in der Röhre mehr oder weniger verdünnt war, also je nachdem sie weiter vom Druck der äusseren Luft entfernt war; die Flüssigkeit wird bald um 1, bald um 2 oder $2^1/_2$ Grad sinken, je nachdem die Druckvermehrung auf der Flüssigkeit beschaffen ist. Aber nicht der Weingeist lässt sich so comprimiren, denn er kann die grössten Belastungen erfahren, ohne an Volumen zu verlieren; folglich ist es die eingeschlossene Luft, die der neuen Kraft nachgegeben hat; diese hat sich comprimiren lassen.

Auch ohne die Thermometer zu öffnen, kann man zeigen, dass die Erhebung eine Folge der eingeschlossenen Luft ist, die sich nicht mit der Flüssigkeit verbunden hat. Diese Prüfung wird um so empfindlicher sein, je weniger Luft in der Röhre enthalten ist und je grösser die Erhebung ist. Sie betrage z. B. 4 bis 5 Grad; man bezeichne genau den Stand bei verticaler Aufstellung: jetzt neige man stark die Röhre; in dem Maasse, als solches geschieht, wird das Flüssigkeitsvolumen zunehmen und 1 bis 2 Grad mehr anzeigen, als bei verticaler Stellung des Thermometers. Je mehr man neigt, um so mehr nimmt die Höhe der drückenden Flüssigkeitssäule ab, oder, was dasselbe ist, der auf die Luftblase wirkende Druck; [**259**] die Luft also kann sich ausdehnen; sie thut es auch wirklich und scheinbar nimmt die Flüssigkeit an Volumen zu.

Der einzige Zweifel, der hier auftauchen könnte, wäre der, ob diese comprimirbare Luft wirklich in unzähligen

Bläschen in der Flüssigkeit vertheilt sei, oder ob dieselben nicht an der inneren Kugeloberfläche am Glase adhäriren. Mir schien die letztere Annahme zu genügen; aber ich dachte, dass, wenn ich eine grosse Luftblase von $1^1/_2$ Zoll Durchmesser an der ganzen Fläche herumstreichen lasse, die adhärirende Luft sich mit derselben vereinigen müsste, und wenn ich alsdann die ganze Blase hinauf in die Röhre schaffte, die Flüssigkeit am wahren Punkte sich einstellen müsste. Zuweilen kam es vor, dass nach dem geschilderten Verfahren die Flüssigkeit etwas niedriger einstand als zuvor, niemals aber sank sie soweit, wie nöthig gewesen wäre, um die Erklärung gänzlich zu bestätigen. Endlich, wenn die Bläschen ausserordentlich klein gedacht werden, sehe ich nicht ein, warum sie nicht lange Zeit ein und dieselbe Stelle einnehmen sollten, wenn man die Flüssigkeit nicht erregt. Thut man übrigens letzteres, kehrt man das Thermometer mehrmals täglich ganz herum, so kehrt die Flüssigkeit schneller auf den wahren Stand zurück, als wenn man es ruhig stehen lässt; die Bewegungen bewirken eine Begegnung der Bläschen, und nach ihrer Vereinigung können sie sich leichter entwickeln.

Sobald Weingeist durch compressible Luft ausgedehnt ist, kann es vorkommen, dass ein umsichtig gefertigtes Thermometer, bei dem Alles genau gemessen worden ist, später in Unordnung geräth, wenn die Flüssigkeit vor dem Verschliessen erwärmt worden war; [260] mithin ist zu befürchten, dass ein sehr richtiges Thermometer, nach starker Sommerhitze, in Unordnung geräth.

Herr *Wolff* bespricht eine der unsrigen ganz entgegengesetzte Störung, die die Beobachter an gewöhnlichen Thermometern in der Kälte bemerkt haben, und deren ich in meiner ersten Abhandlung Erwähnung that. Ein vor einem Fenster der Aussenluft ausgesetztes Thermometer zeigte einen gewissen Kältegrad, während Wasser in der Umgebung gefror, und sank darauf mehrere Grade, weil die Kälte zunahm; als letztere wieder abnahm, schien das Thermometer nicht mehr so stark anzusteigen, wie zu erwarten war. Eis und Schnee in der Umgebung schmolzen, und die Flüssigkeit stand tiefer als damals, wie das Eis sich bildete. Ich hatte mir vorgenommen, im letzten Winter diese Erscheinung aufmerksamer zu verfolgen als früher, um die wahre Ursache aufdecken zu können, aber an meinen Thermometern habe ich Ähnliches nicht beobachtet; vielleicht werden in solchen Fällen nur

Thermometer mit Capillarröhren in ihrem Gange gestört. Immerhin ist es nicht sicher, dass die Thermometer uns allemal dann täuschen, wenn sie an einigen Thautagen Kältegrade zeigen, die sie an Frosttagen besassen. Wir werden in einer nachfolgenden Abhandlung zeigen, dass gewisse Umstände das Schmelzen des Eises bewirken können, obwohl die Luft mehr Kälte besitzt, als zum Gefrieren nöthig ist. Herr *Wolff* hat mit grosser Wahrscheinlichkeit die zu grosse Senkung der Flüssigkeit in dem vorgeführten Falle auf die Luft zurückgeführt, die sich aus dem Weingeist in der strengen Kälte entwickelt hatte; er glaubt, das Weingeistvolumen habe durch Ausscheidung von Luft abgenommen um so viel, als es jetzt zu niedrig zu stehen scheint. Ich hätte dasselbe geglaubt, wenn die bald mitzutheilenden Versuche mich nicht darüber belehrt hätten, dass die angeführte Ursache nicht einen solchen Effect hervorbringen könne. [261] Ich neige daher mehr anzunehmen, dass das Phänomen auf Luft zurückzuführen sei, die nicht völlig mit dem Weingeist verbunden, aber doch in demselben eingeschlossen war, also Luft, die sich abzuscheiden begonnen hatte zu der Zeit, als der Weingeist die Gefriertemperatur annahm. Dieselbe Luft, die den Weingeist zu hoch einstehen liess, veranlasste die Senkung desselben, nachdem sie entwichen war. Uebrigens ist das von Herrn *Wolff* herangezogene Princip, demgemäss bei grosser Kälte viel Luft aus den Flüssigkeiten austritt, vollkommen richtig. Der italienische Professor, der ihm solches bestritt, (abgesehen von dem Falle des Erstarrens der Flüssigkeiten), hat die Versuche übersehen, die die Thatsache vollkommen sichern in allen Fällen starker Abkühlung.

Ein aufmerksamer Beobachter wird es nicht unterlassen, mit unseren Thermometern exacte Beobachtungen anzustellen, selbst wenn der Gang durch den geschilderten Process gestört worden wäre; sobald er Verdacht hegt, dass eine Unordnung vorliegt, wird er sein Instrument prüfen in der in der vorigen Abhandlung beschriebenen Art, d. h. durch Beobachtung des künstlichen Gefrierpunktes. Erreicht dabei die Flüssigkeit nicht den bezeichneten Standpunkt, fehlen ein oder zwei Grade, so wird er eine ebenso grosse Verbesserung anbringen, bis eine erneute Bestimmung die Wiederherstellung des alten Gefrierpunktes ergiebt. Besser freilich ist es, Thermometer zu haben, bei denen solche Störungen nicht vorkommen. In der Zeit der Störung wird übrigens vielleicht

noch eine andere Correction anzubringen sein wegen des Luftvolumens, welches den Anstieg der Flüssigkeit bedingt; es ist zugleich Weingeist- und Luftthermometer.

Das gestörte Thermometer kann auf zweierlei Art wieder in Ordnung kommen; erstlich kann die ausgeschiedene Luft wieder in den Weingeist zurückkehren. Die interessanten Versuche des Herrn *Mariotte* haben gezeigt, dass Weingeist und Wasser die ausgeschiedene Luft wieder aufnehmen. [**262**] Aber alle mit der Luftpumpe angestellten Versuche zeigen, dass die Flüssigkeiten um so weniger Luft enthalten, je geringer der sie belastende Druck ist, und weisen uns den zweiten Weg der Wiederherstellung des Thermometers. Da die Luft im oberen Röhrenende verdünnt ist, kann nicht alle im Weingeist enthaltene Luft in demselben verbleiben, und noch weniger kann die entwichene wieder hinein gezwängt werden; daher wird der Gang am häufigsten dadurch wieder hergestellt werden, dass die ausgeschiedene Luft sich über die Oberfläche erheben wird. Bis jetzt wusste man nicht, wie viel in dieser Art sich ausscheiden kann und ob nicht das Röhrenende, das wir mit verdünnter Luft angefüllt haben, mit der Zeit eine der Aussenluft nahe Dichtigkeit haben wird, die selbst bei grosser Hitze das Thermometer zerbrechen könnte.

Für die Sicherheit der Thermometer und zu unserer Beruhigung über den Gang des Instrumentes wäre es wichtig, es vor solchen Veränderungen zu schützen, die durch die ausgeschiedene Luft verursacht werden könnten. Ein sehr naheliegendes Mittel wäre, dem Weingeist alle jene Luft zu entziehen, die Störungen veranlassen kann. Fraglich ist es dabei, ob man solches praktisch zu erreichen vermöchte und ob nicht neue Schwierigkeiten daraus erwüchsen. Darüber wollen wir jetzt berichten, denn das ist der Hauptgegenstand der vorliegenden Abhandlung.

Wir kennen drei Arten, die Flüssigkeiten von der eingeschlossenen Luft zu befreien; alle drei wurden schon berührt, nämlich: 1. Verminderung des äusseren Luftdruckes, 2. Erwärmung der Flüssigkeit, 3. Abkühlung derselben. Die im Eise sichtbaren Blasen haben die Wirksamkeit des dritten Mittels dargethan; auch ist die Thatsache von aufmerksamen Physikern in Zeiten strenger Kälte bestätigt worden; sie haben alsdann bemerkt, dass kleine Bläschen aus der Kugel in die Röhre hinaufstiegen und, an der Oberfläche angelangt, [**263**] barsten, so dass die Flüssigkeit herumspritzte, ähnlich wie

man solches an gewissen leichten Weinen beobachtet. Die genannten drei Arten sind die einzigen, die wir kennen, um die Luft aus den Flüssigkeiten zu vertreiben; und alle drei Processe können zu verschiedenen Zeiten die Ausscheidung aus dem Weingeist in den Thermometern bewirken; alle drei können mithin den regelrechten Gang der Thermometer stören.

Könnten wir die Wirkung der genannten drei Ursachen fortschaffen, so brauchten wir vermuthlich keine Störung mehr zu befürchten. Nehmen wir dem Weingeist alle in ihm enthaltene Luft durch Verminderung des Druckes, durch Erwärmung oder durch Abkühlung, so brauchen wir keine weitere Luftabscheidung zu befürchten.

Die Flüssigkeit in unseren Thermometern soll uns vor Allem die Kälte- und Wärmegrade der Luft, die wir athmen, anzeigen; solche Temperatur ist stets weit vom Siedepunkte entfernt. Hätte ich versucht, die Luft nur bei der Temperatur des siedenden Wassers zu vertreiben, so wäre jede Hoffnung geschwunden, das Ziel zu erreichen. — Man mag das Wasser kochen, so lange man will, stets bleibt noch Luft in demselben enthalten; denn mit der Luftpumpe erhält man immer noch Luft, wie lange auch das Sieden fortgesetzt worden ist. Es schien mir aber nicht unmöglich, den Weingeist ganz von Luft zu befreien durch die grösste Hitze bewohnter Klimate; wenn man zugleich Alles entweichen lässt unter einem viel geringeren Druck als dem der Atmosphäre, wie man ihn erhält bei der sehr verdünnten Luft, die im Thermometer belassen wird, damit nicht ein die Kugel gefährdender Druck während hoher Hitzegrade entstehe. Obwohl man nicht weiss, wie hoch die Flüssigkeit des Thermometers in den heissesten Ländern steigen kann, so kennt man doch Grenzen, die sicher nicht erreicht werden. [**264**] Also kommt es nur darauf an, so viel Luft zu entziehen, wie eine viel höhere Hitze, als die der heissesten Länder, entweichen lässt; nirgendwo kann die Flüssigkeit unserer Thermometer 50 oder 60 Grad erreichen; vielleicht selbst 40 ist nicht zu beobachten. Wasser, welches diesen Gradwerth zeigt, schmilzt den Talg.

Ich habe ein Thermometer, das über 60 Grad steigen konnte, von seiner Platte abgetrennt; darauf that ich es in warmes Wasser, liess darin die Flüssigkeit fast bis zum oberen Ende ansteigen. Dann entfernte ich das Thermometer, verschloss das obere Ende mit einer Mischung aus Wachs und Terpentin; kaum ein halber oder ein viertel Grad blieb über

der Flüssigkeitsoberfläche nach und in diesem Raume war die Luft stark durch die Wärme ausgedehnt: das weiche in den Fingern geknetete Wachs drang ziemlich tief in den Raum hinein, so dass die zurückgebliebene Luftmenge sehr gering war. Dieses Thermometer legte ich nach dem Verschliessen horizontal nieder, so dass das obere Röhrenende kaum höher stand, als die obere Seite der Kugel. In diesem Theile entstand bald eine Blase; dieselbe wuchs, je kälter die Flüssigkeit wurde. Um eine gehörige Abkühlung zu erzielen, liess ich das Thermometer 10 bis 12, ja oft auch 24 Stunden liegen. Die Blase wurde grösser, sie wurde ein Kugelsegment, dessen Basis ein Kreis von 14 bis 15 Linien bildete. Indess kommt es weder auf die genauere Bestimmung dieser Grössen an, noch auf den Zustand der Luft, die darin enthalten war. Als ich vermuthete, es sei die ganze mögliche Grösse erreicht, richtete ich das Thermometer auf und liess die Blase aufsteigen in die Röhre, und ich nahm nun an, diese Luft sei von dem Weingeist abgeschieden.

[**265**] Sofort darauf habe ich die Röhre geöffnet und das Thermometer wieder in das warme Wasser gebracht, bis die Flüssigkeit in der Röhre oben einstand. Wieder nahm ich das Thermometer heraus, verschloss es mit Wachs; kurz, ich wiederholte die ganze vorige Procedur mit demselben Zwecke. Ich legte das Thermometer nieder, damit die im Weingeist enthaltene Luft noch entweichen könne, um sie im oberen Röhrentheile anzusammeln. Wie im ersten Experimente, so geschah es auch hier, eine fast ebenso grosse Luftmenge in fast derselben Zeit hatte sich angesammelt. Wiederum liess ich sie entweichen; brachte ein drittes mal die Kugel in warmes Wasser und wiederholte ein jedes Verfahren, wie zuvor.

Solche Versuche habe ich nicht mit einem Thermometer, sondern mit mehreren anderen gleichzeitig angestellt; bei einigen war schon die zweite Blase kleiner; bei anderen blieben die Blasen bis zur vierten oder fünften gleich gross. Wenn die Grösse merklich abnahm, durfte ich hoffen, den Weingeist von aller Luft zu befreien, die nach dem angewandten Verfahren herausgepumpt werden konnte; meine Erwartung ist nicht getäuscht worden. Es sind Thermometer vorgekommen, bei denen nach der fünften oder sechsten Anwendung unseres Verfahrens nicht die kleinste Blase mehr sich gebildet hat. Selbst bei dem vierten Mal kam solches vor. Bei anderen musste ich achtzehn bis zwanzig Mal den

Process wiederholen, bis alle Luft ausgeschieden war, die bei dem angewandten Wärmegrade vertrieben werden konnte. Verschiedene wohl zu erkennende Umstände können bei scheinbar gleichem Verfahren die Verschiedenheit verursachen. Was uns aber wesentlich zu sein scheint, und bei allen Versuchen im Auge behalten wurde, war die Thatsache, dass bei einem Wärmegrade unterhalb des Siedepunktes des Wassers, **[266]** nur eine gewisse Quantität Luft aus dem Weingeist vertrieben werden kann, und dass, wenn solches geschehen ist, man keine weitere Luftmenge mehr auszuscheiden vermag; und dass bei einer niedrigeren Temperatur, zwischen der angewandten und dem Gefrierpunkte des Wassers, wenn man die abgeschiedene Luft ausgetrieben hat, durchaus keine weitere Luftmenge aus demselben Weingeist abgeschieden werden kann. Daraus folgt, dass, wenn man eine Temperatur anwendet, die in keinem der heissesten noch bewohnten Erdgegenden übertroffen wird, man auch keine Störungen von der Luftwärme zu befürchten haben wird im Gange eines Thermometers, welches mit Weingeist gefüllt ist, der bei der genannten höheren Temperatur von Luft befreit wurde.

Wenn in den Versuchen bereits zwei oder drei mal bei einem Thermometer, das so stark erwärmt worden war, dass die Flüssigkeit bei der Erwärmung am oberen Röhrenende stand und bei der Abkühlung keine Luft mehr sich entwickelte, so liess ich das obere Ende zuschmelzen, nachdem ich ein wenig tiefer die Flüssigkeit hatte hinabsteigen lassen, als vorhin bei dem Verschliessen mit Wachs. Dann brachte ich es zurück auf seine Platte und liess es in Ruhe. Wenn es die Temperatur der Umgebung angenommen hatte, stand die Flüssigkeit keineswegs höher als bei gut geregelten Thermometern, wie solches bei den ohne Erschöpfung der Luft beobachteten Thermometern der Fall war, die Flüssigkeit stand jetzt niedriger; und das war zu erwarten. Vielleicht aber erscheint die Thatsache unerwartet, dass trotz der ganzen ausgetriebenen Luft, die Flüssigkeit doch ein viertel Grad niedriger stand, als vor Ausscheidung der Luft.

Was mir besonders interessant erschien, war die Frage, wie sich die Ausdehnbarkeit des von Luft befreiten Weingeistes zu der Ausdehnbarkeit desselben Weingeistes mit seiner ganzen in ihm vorhandenen Luft verhalten werde, eine für die Construction von Thermometern wesentliche Frage; eines der Principien, die die Vergleichbarkeit des Ganges ermöglichen,

erfordert jene Kenntniss. [267] Ausserdem ist es an und für sich von Interesse zu wissen, wie viel die durch Wärme so sehr stark ausdehnbare Luft zur Ausdehnbarkeit des Weingeistes, dem sie eingeschlossen ist, beiträgt. Unsere Thermometer gestatten uns solches leicht zu erkennen. Man braucht nur den Gang zweier Thermometer zu vergleichen, deren eines mit Weingeist gefüllt ist, der seinen vollen natürlichen Gehalt an Luft besitzt, während das andere mit völlig von Luft befreitem Weingeist bestellt ist; der Gang muss durch eine lange Gradstrecke hindurch verglichen werden, sowohl über als unter dem Gefrierpunkte. Solchen Vergleich habe ich vielmals angestellt, das Resultat wird selbst denen sonderbar erscheinen, die nicht so sicher wie Herr *Taglini* behaupten, es könne die Luft nicht aus dem Weingeist entweichen ohne Verminderung der Contractions- und Expansionsfähigkeit des letzteren. Die beiden Thermometer verhielten sich in allen Temperaturen völlig gleich; sie gaben mit solcher Präcision die gleichen Grade an, wie es zwei sorgfältig und völlig gleich construirte Thermometer thun würden, die mit ein und demselben mit Luft behafteten Weingeist gefüllt wären.

Wie ausdehnbar auch Luft sei, sobald sie mit dem Weingeist verbunden und mit ihm verkörpert ist, hat sie keine ihr eigene Ausdehnbarkeit. Sollte eine solche vorhanden sein, so ist sie so gering, dass sie nichts Merkliches der Ausdehnbarkeit des Weingeistes hinzufügt. Das mussten wir übrigens voraussehen oder wenigstens vermuthen; denn, im Grunde genommen, sind Compressibilität und Ausdehnbarkeit zwei Eigenschaften, die von ein und demselben Principe bedingt sind. Wenn die Compressibilität geschwunden ist, warum sollte die Ausdehnbarkeit beharren? Die Versuche der ersten Abhandlung haben uns zum Schluss geführt, dass der spirituöse Theil des Weingeistes ausserordentlich ausdehnsam sei, daher mussten wir mindestens daran zweifeln, ob die eingeschlossene Luft etwas hierzu beiträgt. Aber die in derselben Abhandlung beigebrachten Versuche über die geringe Ausdehnbarkeit des Wassers bei gewissen Graden von Wärme, die den Weingeist im Thermometer bereits stark ansteigen lassen, dürfen keinen Zweifel aufkommen lassen. [268] Wir wissen, dass Wasser sehr viel Luft enthält, und dass Luft sehr ausdehnsam ist, und die Versuche lehren, dass das Wasser sich sehr wenig ausdehnt durch einen Wärmegrad, der die

Luft stark auszudehnen vermag. Daraus mussten wir schliessen, dass die im Wasser eingeschlossene Luft gar nicht oder sehr wenig ausdehnbar ist, wenigstens bei gewissen Wärmegraden. Indess ist es gar zu gewöhnlich, dass wir weder alle Consequenzen aus unserer Erfahrung ziehen, noch die Tragweite dieser Consequenzen verfolgen.

Sobald die Luft der Flüssigkeit beigesellt, mit ihr verbunden ist, entbehrt sie zweier charakteristischer Eigenschaften, die wir so sehr anstaunen, der Compressibilität durch Druck und der starken Ausdehnbarkeit durch Wärme; sie nimmt erst nach Abscheidung aus der Flüssigkeit beide Eigenschaften wieder an.

Es war doch so naheliegend zu glauben, dass die Luft zur Ausdehnbarkeit der Flüssigkeit mit beiträgt, dass man sich kaum darüber wundern mag, dass hierüber keine besonderen Versuche angestellt worden sind. Im Gegentheil, man glaubte sogar, es lägen Versuche vor, die da bewiesen, dass die beigemengte Luft die Ausdehnbarkeit vermehre. Herr *Taglini*, in der von uns citirten Dissertation über Thermometer, sagt, es könne den Anschein haben, dass man ein vollkommeneres Thermometer bauen würde, wenn man es mit Weingeist füllte, der mittelst der Luftpumpe von Luft befreit wäre, denn der Weingeist sei dichter geworden und deshalb leichter von der Wärme zu beeinflussen. Aber sofort fügt er hinzu, der Versuch beweise das Gegentheil, dass der von Luft befreite Weingeist sich im Thermometer weit langsamer erhebt und senkt durch Wärme und Kälte, und nicht mehr in richtigen Graden (en degrès convenables) die Wärme und Kälte der Aussenluft anzeige. Endlich, in der vierzehnten Proposition, sagt er, dass die dem Weingeist innig beigemengte Luft sehr viel zur Expansion und Contraction durch Wärme und Kälte beitrage.

[**269**] Ohne einen Versuch anzustellen, würde ich gern zugeben, dass der mittelst der Luftpumpe von Luft gereinigte Weingeist nicht mehr seine frühere Ausdehnbarkeit besässe; aber nach den von uns beigebrachten Versuchen kann man den Grund nicht mehr in der Entziehung der Luft sehen, sondern darin, dass der spirituöse Theil vermindert worden ist. Die aus dem Weingeist stürmisch in den Ballon entweichende Luft nimmt viele der flüchtigsten Theile des Weingeistes mit fort, und diese kehren nicht mehr in den Weingeist zurück; sie entweichen aus dem Ballon, wenn man durch den

Stempel die Luft stossweisse ausströmen lässt. Der Weingeist also wird schwächer, er wird eine Art Branntwein, der sich weit weniger ausdehnt, als rectificirter Weingeist.

Es findet nicht dasselbe statt, wenn wir mittelst des Thermometers allmählich die Luft entfernen. Die Luftblasen entfernen sich eine nach der andern ohne Aufbrodeln; wenn auch etwas vom spirituösen Theil entweicht, so kann derselbe zurückkehren und mit dem übrigen wieder sich verbinden. Um endlich die Luft auszutreiben, richtet man das Thermometer wieder auf; die Luft muss also durch den Weingeist hindurchstreichen, wobei die spirituösen Theile zurückbleiben, wenn welche in der Luft enthalten sind, denn sie haften eher am Weingeist als an der Luft. Da schliesslich der von Luft zum grössten Theile befreite Weingeist, sich ebenso stark und sicher ausdehnt und condensirt als der möglichst mit Luft erfüllte, so ist es sicher, dass beim Austreiben der Luft wir keine spirituösen Theile abscheiden; denn wenn letzteres geschähe, so müssten wir schliessen, dass die im Weingeist eingeschlossene Luft die Ausdehnbarkeit desselben vermindere.

Aus Vorstehendem folgt, in Bezug auf die Construction unserer Thermometer, [**270**] dass wir bei genügender Austreibung der im Weingeist eingeschlossenen Luft, und je dünner die im oberen Röhrenende vor dem Zuschmelzen nachgelassene Luftmenge ist, um so weniger Störungen in der Folge zu erwarten haben werden. Man kann hoffen, dass solch ein Thermometer viele Jahre lang und vielleicht durch Jahrhunderte seinen regelrechten Gang sich erhalten werde. Die in der Röhre verbliebene Luft wird, obwohl sie sehr verdünnt war, es doch etwas weniger sein, als die während der Befreiung von Luft im Laufe der beschriebenen Processe angesammelte; daher braucht man nicht zu befürchten, dass im Laufe der Zeit sich aus demselben Weingeist von neuem Luft entwickeln werde.

Ich habe anderswo hervorgehoben, dass wir nichts darüber wissen, ob im Laufe der Zeit Weingeist, trotzdem er hermetisch in Glasgefässe eingeschmolzen ist, sich verändere: in unseren Thermometern kann der spirituöse Theil in Dampfform aufsteigen in jenen Theil der Röhre, der Luft enthält; offenbar aber wird, je dünner diese Luft, oder, was dasselbe ist, je leichter diese Luft ist, um so leichter der spirituöse Theil aufsteigen und in der oberen Röhrengegend bleiben,

über dem Weingeist. Aber auf die Dauer könnte der letztere, wie alle Flüssigkeiten, die man ruhig in Gefässen stehen lässt, sich ein wenig zersetzen, so dass der ölichte Theil sich vom wässerigen abscheidet. Diese beiden von einander getrennten Theile haben vielleicht eine andere Ausdehnbarkeit, als wenn sie mit einander verbunden sind. Unsere Versuche über die Ausdehnbarkeit der Gemenge aus Wasser und Weingeist sind indess wohl geeignet, uns gegen den Verdacht einer Art von Zersetzung zu schützen. Die Dicke unserer Thermometerröhren gestattet uns eine Zersetzung leichter zu verhindern, als solches bei Capillarröhren möglich wäre, und erlaubt uns zugleich zu veranlassen, dass der Weingeist den entwichenen spirituösen Theil wieder aufnehme. [**271**] Man braucht nur das Thermometer umzukehren und es wieder aufrecht zu halten und solches mehrmals zu wiederholen, so dass die Flüssigkeit die ganze Röhre bespült; dann wird die Flüssigkeit die spirituösen Theile wieder aufnehmen und bei Durchschüttelung der ganzen Flüssigkeitsmasse wird eine Vereinigung der Theilchen bewirkt, wenn während langer Ruhezeit eine Trennung eingetreten sein sollte. Indess scheint mir die Befürchtung doch übertrieben zu sein.

Thermometer, deren Weingeist von Luft befreit ist und die sehr verdünnte Luft im oberen Röhrenende enthalten, scheinen mir vor anderen noch einen Vortheil zu haben, den ich indessen noch nicht als völlig gesichert bezeichnen darf. Mir schien es, dass sie, im Vergleich zu den anderen, empfindlicher seien, dass sie schneller den richtigen Stand erreichen. Die im oberen Röhrentheil befindliche Luft ist compressibel, der Weingeist ist es nicht, doch kann jene Luft sicherlich den Weingeist nicht an seiner Ausdehnung hindern, wenn die Wärme auf beide ausdehnend wirkt. Aber je grösser der Widerstand der Luft, und er ist um so grösser, je dichter die erwärmte Luft ist, um so langsamer wird der Weingeist sich erheben. Nicht etwa deshalb, weil er der Erwärmung und Abkühlung nicht sogleich folgt; sondern weil die Wärme mehr Zeit braucht, den Weingeist zu durchdringen, wenn er stärker gedrückt ist. Die Feuertheile, die eindringen müssen, haben grösseren Widerstand zu überwinden, und das geschieht langsamer. In einem Wort, ebenso wie mehr Zeit erforderlich ist, feste Körper zu erwärmen, so dauert es auch länger, wenn comprimirte Körper erwärmt werden sollen. Es ist eine grössere Action des Feuers nöthig, wenn auf mehr Theilchen gewirkt

werden soll, und ausserdem auch mehr um auf dieselbe Anzahl Theilchen zu wirken, die mehr Widerstand darbieten. [11])

Mit grösserem Rechte könnte befürchtet werden, dass der von Luft befreite Weingeist die im oberen Röhrenende befindliche Luft in sich aufnähme. [272] Aber das kann nicht viel sein im Vergleich mit der entwichenen Menge, besonders wenn man wenig eingeschlossen hatte. Wenn später diese geringe Quantität wieder austräte, so wird sie den Gang des Thermometers nicht merklich stören. Dem wird man beipflichten, wenn man die Menge der vor dem Zuschmelzen des Thermometers abgeschiedenen Luft zu beurtheilen vermag.

Es erübrigt uns mithin zu bestimmen, welches Volumen Luft von der Dichtigkeit der umgebenden aus dem Weingeist vertrieben wird und um wie viel das Weingeistvolumen durch die eingeschlossene Luftmenge vergrössert wird. Es wäre der Physik dienlich, wenn wir weniger vage Vorstellung hätten von der Luftmenge, die Weingeist, Wasser und andere Flüssigkeiten enthalten. Man kennt die Thatsache, man weiss, dass die Menge nicht gering ist, vielleicht überschätzt man dieselbe; aber noch niemals ist sie mit geeigneten Apparaten gemessen worden; vielleicht sind unsere Thermometer dazu besonders geeignet. Auch kann man mit denselben die in beliebigen Flüssigkeiten enthaltenen Mengen und selbst die in einigen festen Körpern ebenso gut bestimmen, wie die Kälte und Wärme. Wir wollen hier bloss andeuten, was wir gethan haben, um die der Regelmässigkeit der Thermometer schädliche Luftmenge zu messen. Man wird aber finden, dass es gut wäre, die Versuche in anderem Interesse zu erweitern. Herr *Mariotte* hat ein einfaches, sinnreiches Verfahren, wie er denn stets sich solcher bedient, angegeben, um die in einem Wassertropfen enthaltene Luft zu schätzen. Er nahm einen kleinen Fingerhut aus Glas, füllte ihn mit Oel bis zu einer gewissen Höhe und stellte ihn über einen Wassertropfen. Mittelst einer Flamme erwärmte er den Tropfen; die Wärme trieb die Luft aus, dieselbe stieg in dem Fingerhut empor, sammelte sich dort an, und setzte den Beobachter in den Stand, die im Tropfen eingeschlossen gewesene Luftmenge zu beurtheilen. [273] Ich habe Grund zu der Annahme, dass verschiedene Umstände in diesem Versuche dazu beigetragen haben, die genannte Quantität zu überschätzen; jedenfalls ist die Methode eine recht grobe, während unsere Thermometer uns sehr präcise Messungen gestatten. Um die Verwendung

derselben kennen zu lernen, brauchen wir nur einiges zu beachten, was vorhin absichtlich nicht hervorgehoben wurde.

Nehmen wir eins von unseren Thermometern, das mehrere Stunden geruht hat, nachdem es aus dem warmen Wasser herausgenommen und mit Wachs verschlossen war, mit Beachtung aller Vorsichtsmaassregeln; in der Kugel sammele sich eine grosse Luftblase an: die Grösse derselben wird uns schwerlich eine Vorstellung geben von der in ihr befindlichen Luftmenge; denn mehr oder weniger Luft steckt in demselben Raume, je nachdem sie dichter oder dünner ist; diese Luft aber ist dichter oder dünner, je nach der Stellung der Röhre, die nie völlig horizontal liegt, und je nachdem die Flüssigkeitssäule in der Röhre länger oder kürzer ist, endlich auch je nach der Luftmenge, die im oberen Röhrenende belassen war, denn deren Druck wirkt gegen den in der Blase auftretenden. Um genau die Luft in der Kugel zu messen, muss man deren Volumen auf Atmosphärendruck reduciren. Das Verfahren ist ganz einfach und so genau, wie Versuche dieser Art es erwünschen lassen; eine grobe Schätzung würde genügen; hier erlangt man mehr. Ich beobachte den Stand der Flüssigkeit in der Röhre; sie stehe z. B. bei 50 ein. Dann öffne (discelle) ich das obere Ende und setze dadurch die Flüssigkeit und mithin auch die Blase dem Luftdruck aus. Damit die Aussenluft nicht gar zu stürmisch einträte, öffne ich langsam; am besten durchsticht man das Wachs mit einer ziemlich feinen Stahlnadel; auch eine Stricknadel genügt. [**274**] Sobald das Wachs durchstochen ist, dringt Luft ein, und zwingt die Flüssigkeit sich zu senken; das Luftblasenvolumen nimmt beträchtlich ab. Die Flüssigkeit senkt sich in den ersten Momenten sogar mehr, als sie sollte; der erste Luftstoss hat die Luft zu stark zusammengedrückt, sie übt einen Ueberdruck aus und die Flüssigkeit steigt sogleich wieder, und zwar zu hoch. Diese Vibrationen hören bald auf, und die Flüssigkeit steht richtig ein. Um starke Schwingungen zu vermeiden und die Kugel vor dem Zerbrechen zu wahren, öffne ich langsam den Verschluss. Wenn Alles sich beruhigt hat, notire ich den Stand der Flüssigkeit, z. B. 30, ich habe also eine Senkung um 20 Grade. Jetzt richte ich das Thermometer auf, die Luftblase steigt empor und berstet über der Oberfläche. Die Flüssigkeit steht wiederum tiefer; dann bringe ich das Thermometer wieder in horizontale Lage und notire den Stand; er sei 10, mithin fasste die Blase 20 Volumtheile,

da der Stand 30 betrug, als die Blase in der Kugel war; und das waren 20 Volumtheile bei Atmosphärendruck vermehrt um eine kleine Säule Weingeist, die je nach der Stellung der Thermometerröhre mehr oder weniger beträgt. Man kann dieses berücksichtigen; wir wollen es indess vernachlässigen; wir nehmen an, das beobachtete Volumen enthalte Luft vom Druck der Atmosphäre. Nehmen wir die Summe aller Grade oder Volumtheile, die ein und dasselbe Thermometer bei den folgweisen Processen ergeben hat, und wir haben die gesammte dem Weingeist entzogene Luftmenge. Da nun die Quantität Weingeist, nach denselben Maasseinheiten wie die gemessene Luft, uns bekannt ist, so hat man sofort das Verhältniss beider. Hier folgen einige Versuche; es sind Beispiele mit sehr verschiedenen Resultaten.

[275] In den mitzutheilenden Experimenten geben wir das Volumen der Luft bei Atmosphärendruck an ohne Rücksicht auf die Correction wegen der Weingeistsäule in der sehr stark geneigten Röhre; ferner theilen wir das Volumen des Weingeistes mit, ehe er dem Druck ausgesetzt war, indem wir nämlich von dem Stande der Flüssigkeit bei verschlossener Röhre den Stand abziehen, den wir, nachdem die Luftblase emporgestiegen ist, beobachten. Der Grad der Verdünnung der Luftblase kennzeichnet die Menge Luft, die beim Zuschmelzen im Rohr belassen worden war.

I. Versuch: Der Weingeist gab $10\frac{1}{2}^{\circ}$ condensirter Luft, die vorher $34\frac{1}{2}^{\circ}$ einnahm.
II. Vers.: condensirtes Volumen $10\frac{1}{2}^{\circ}$, vorher $34\frac{1}{2}^{\circ}$.
III. » » » 5°, » 34°.
IV. » » » 5°, » $35\frac{1}{2}^{\circ}$.

Beim V. Versuch liess man die Luft austreten, ehe die Flüssigkeit sich völlig abgekühlt hatte, oder was dasselbe ist, ehe die Luft, die sich hätte entwickeln können, ausgetreten war, man erhielt nur $1\frac{1}{2}^{\circ}$ condensirter Luft, die vorher $21\frac{1}{2}^{\circ}$ einnahm.

VI. Vers.: condensirtes Volumen 5°, vorher $27\frac{1}{2}^{\circ}$.
VII. » » » $2\frac{1}{2}^{\circ}$, » $27\frac{1}{2}^{\circ}$.
VIII. » » » 2°, » 26°.
[276] IX. » » » $1\frac{1}{4}^{\circ}$, » $20\frac{3}{4}^{\circ}$.
X. » » » $1\frac{1}{8}^{\circ}$, » $18\frac{5}{8}^{\circ}$.
XI. » » » 1°, » 25°.
XII. » » » weniger als $\frac{1}{2}^{\circ}$, » 10°.

6*

XIII.	Vers.: condensirtes	Volumen	$^1/_2{}^0$,	vorher	22^0.
XIV.	»	»	$^1/_8{}^0$,	»	$6^1/_8{}^0$.
XV.	»	»	$^1/_3{}^0$,	»	15^0.
XVI.	»	»	$^1/_4{}^0$,	»	15^0.
XVII.	»	» fast	$^1/_4{}^0$,	»	$10^1/_2{}^0$.

Nach diesen 17 Processen war der Weingeist vollständig von Luft erschöpft, soweit solche durch diejenige Wärme ausgetrieben werden kann, die die Flüssigkeit bis oben ansteigen lässt. Das Thermometer wurde noch 3 mal in warmes Wasser gestellt und blieb in horizontaler Lage einen vollen Tag liegen, ohne dass auch nur die kleinste Luftblase wieder erschien. Nachdem es oben zugeschmolzen war, fehlte etwa ein viertel Grad Flüssigkeit im Vergleich zu dem Stande vor den Versuchen. Summirt man die Menge der vorstehenden 17 Messungen, so findet man für die gesammte ausgetriebene Luft $47^1/_3{}^0$ bei Atmosphärendruck.

Ich habe dieselben Versuche mit einem anderen Thermometer angestellt, welches mit schwachem Weingeist gefüllt war, auch war die Röhre kürzer und es besass weniger Grade über dem Gefrierpunkte.

[**277**] Beim ersten Versuche ergaben sich $4^1/_2{}^0$ condensirter Luft, die vorher $10^1/_2{}^0$ einnahmen.

II.	Vers.: Condensirte	Luft	$16^3/_4{}^0$,	vorher	$41^1/_2{}^0$.
III.	»	»	$10^1/_2{}^0$,	»	48^0.

Das war Alles, was von diesem Thermometer entnommen werden konnte bei der Temperatur, die die Flüssigkeit bis oben ansteigen liess. Die Gesammtsumme beträgt nur $31^3/_4{}^0$; vergeblich wurde das Thermometer nochmals dem Process unterworfen.

Der Weingeist beider Thermometer war derselbe, mit dem wir bisher unsere Thermometer angefüllt haben, d. h. ein solcher, dessen Ausdehnung vom Gefrierpunkt bis zur höchsten Wärme, die das siedende Wasser ihm mittheilen kann, ohne dass er selbst kocht, zwischen den Zahlen 1000 und 1080 enthalten ist. Dieser Weingeist war aus anderem hergestellt, der von 1000 auf 1090 sich ausdehnte. Ich wollte wissen, was dieser Weingeist an Luft ausgeben werde; ich habe mit demselben die Kugel sammt der Röhre, die nach der beschriebenen Methode graduirt waren, angefüllt. Beim Gefrierpunkte stand dieses Thermometer bei 0 Grad ebenso wie jene mit schwachem Weingeist. Aber bei anderen

Wärmegraden zeigte es und musste es andere Stände zeigen. Ich verfuhr ebenso wie früher, um dem Weingeist die Luft zu entziehen. Ich erhielt im

I. Versuche	$16^1/_2{}^0$	condensirter Luft,	vorher	28^0.
II. »	$23^1/_2{}^0$	»	» »	$50^1/_4{}^0$.
III. »	$14^1/_2{}^0$	»	» »	$48^1/_2{}^0$.

[**278**] Im Ganzen also in 3 Versuchen $54^1/_2{}^0$ condensirter Luft. Mehr konnte nicht erhalten werden, es wurde vergeblich weiter manipulirt.[12])

Vergleicht man übrigens die bei den verschiedenen Versuchen mit ein und demselben Thermometer erhaltenen Resultate, oder die bei verschiedenen Thermometern beobachteten Mengen, so findet man Differenzen, die leicht zu erklären sind. Ein zweiter Versuch mit demselben Thermometer schafft mehr Luft als beim ersten Versuch, wenn man das zweite Mal weniger Luft am oberen Röhrenende belassen hat. Die in der Röhre eingeschlossene Luft dehnt sich aus; und je mehr sie das thut, um so geringer wird ihr Druck; je weniger also man Luft einschliesst, um so weniger Druck lastet auf dem Weingeist und um so weniger ist die mit dem Weingeist verbundene Luft gehindert, sich abzuscheiden.

Noch ein anderer Umstand muss bemerkt werden: gestattet man dem Weingeist in einem Versuche, sich mehr abzukühlen, als in dem anderen, so entweicht mehr Luft. Wenn also ein Versuch bei niedrigerer Temperatur ausgeführt wird als ein anderer, so wird der bei kälterem Wetter unternommene mehr Luft entweichen lassen, wenn auch die Zeit zwischen dem Verschluss der Thermometer und deren Wiedereröffnung dieselbe war. Kälte beschleunigt merklich den Process, denn nur während der Abkühlung sieht man die Luft sich entwickeln; die oben eingeschlossene Luft verliert auch an Kraft, weil sie sich immer mehr und mehr ausdehnt. Noch aus einem anderen Grunde nimmt der Druck ab, weil diese obere Luft selbst sich abkühlt, und zwar schneller als die Flüssigkeit: und man weiss, wie sehr Wärme die Spannkraft der Luft vermehrt. [**279**] Es verdient ferner bemerkt zu werden, dass, wenn man das Thermometer beobachtet, nachdem es aus dem warmen Wasser herausgenommen und niedergelegt ist, man zuweilen die Flüssigkeit allmählich dem Gefrierpunkt sich nähern sieht, ohne dass eine Luftblase sich bildet, wenigstens keine grosse; aber ist die Flüssigkeit bis zu einer gewissen

Stelle gesunken, z. B. bis 16°, oder tiefer, wie mir solches vorgekommen ist, so fängt sie wieder an zu steigen, obwohl die Aussentemperatur nicht gewachsen ist, und ganz allmählich erhebt sie sich bis 30 oder 40 Grad; alsdann hat sich Luft aus dem Weingeist entwickelt, und in dem Maasse als sie entweicht, dehnt sie sich aus und zwingt die Flüssigkeit, ihr Raum zu geben, indem letztere in der Röhre emporsteigt und die dort vorhandene Luft verdichtet, die selbst, abgekühlt, geneigt ist sich zu verdichten.

Von einem Thermometer zum andern kommen Verschiedenheiten vor, die auf die angeführten Ursachen zurückzuführen sind. Aber noch ein Umstand ist hier zu erwähnen, der nicht nur die einzelnen Versuchsresultate, sondern die Gesammtsumme beeinflusst; das ist nämlich die ungleiche Anzahl von Graden über dem Gefrierpunkte. Denn wenn weniger Grade vorhanden sind, so ist die angewandte Wärme geringer, als da wo die Anzahl grösser ist. Daher kommt es, dass, wenn zwei Flüssigkeiten sich contrahiren, der leere Raum bei demjenigen kleiner ist, der weniger Grade hat. Hat man also in beiden Röhren gleichviel Luft nachgelassen, so hat die Luft in letzterem Falle mehr Druckkraft, weil weniger Raum sich auszudehnen.

Versuche, mit ein und demselben Thermometer wiederholt, wenn dasselbe mit der gleichen oder einer ähnlichen Flüssigkeit gefüllt wird, können doch noch verschieden ausfallen; derselbe Weingeist, dasselbe Wasser, können verschiedene Mengen Luft enthalten, und wirklich wechselt der Betrag und ist zu gewissen Zeiten geringer. Uebrigens kann auch Luft an der Röhrenwand adhäriren, Luft, die nicht aus dem Weingeist stammt; [280] und zwar bald mehr, bald weniger; dadurch werden wiederum Unterschiede in den Resultaten bedingt. In der ersten Versuchsreihe, wo erst nach 17 Operationen die Luft erschöpft war, befand sich Sand in der Thermometerkugel; die an demselben adhärirende Luft mag wohl einen Theil der abgeschiedenen Menge geliefert haben, und daher stammt der beträchtliche Unterschied zwischen dem ersten und zweiten Versuche, denn bei dem einen erhielten wir $47\frac{1}{3}$ Grad condensirter Luft, bei dem zweiten nur $31\frac{3}{4}$ Grad. Aber hauptsächlich ist die verschiedene Anzahl der Grade über dem Gefrierpunkte in diesem Falle die Ursache. Wenn Sand, Blei oder dergleichen in der Kugel sich befindet, müssen die Processe vielmals wiederholt werden; ein Theil der Bläschen

wird zwischen den Körnern dieser Materie festgehalten, ohne emporsteigen zu können.

Die mitgetheilten Versuche genügen in Bezug auf den ersten Gegenstand unserer Untersuchung, um zu zeigen, dass, wenn wir den Weingeist, soweit die Methode es gestattet, von Luft befreit haben, die Regularität des Thermometerganges gesichert erscheint und dass keine Störungen durch Luft, die der Weingeist später aufnehmen könnte, zu befürchten sind. — Man hat dem Weingeist 30 bis 40 Volumtheile Luft entzogen, und schmilzt man die Röhre zu, so belässt man nur 2 bis 3 Gradtheile Luft und, wenns beliebt, noch weniger. Der Weingeist wird diese Menge nicht aufnehmen können, thut er es aber, so wird er damit nur sehr wenig belastet sein.

Diese Versuche verdienten erweitert zu werden zur Ermittelung der in verschiedenen Flüssigkeiten und besonders im Wasser eingeschlossenen Luftmenge, und der bei höherer Temperatur, als wir sie anwandten, auszutreibenden Menge. Der Versuch, den Herr *Mariotte* mit seinem [**281**] Glasfingerhut voll Oel angestellt hat, führte ihn zu dem Resultat, ein Tropfen Wasser enthalte ein Volumen Luft von atmosphärischer Dichtigkeit, welches 8 bis 10 mal grösser war als das eigene.

Es hat wohl sehr den Anschein, dass seine Kugel durch Luft vergrössert wurde, die nicht dem Wasser beigesellt war; indess wollen wir uns nicht damit aufhalten, was man von der im Wasser enthaltenen Luftmenge glauben solle, denn sonst müssten wir in ein Detail von Experimenten und Discussionen eintreten, das uns zu weit ablenken würde; ein anderes Mal wollen wir darüber berichten.

Welches nun auch der Betrag der in Wasser und anderen Flüssigkeiten eingeschlossenen Luftmenge sein mag, die Methode, denselben zu erfahren, verdient durchaus von den Physikern beachtet zu werden. Wir sahen, dass die 54 Volumtheilchen Luft von der Dichtigkeit der Atmosphäre den Weingeist, mit dem sie verbunden ist, nur um etwa $^1/_4$ Grad an Volumen wachsen lässt, so dass sie einen 216 mal kleineren Raum einnimmt, als in der Atmosphäre.[13]) Herr *Mariotte* glaubte auf Grund seines Versuches, die Luft sei 8 bis 10 mal verdichtet im Wasser im Vergleich zur Dichtigkeit im freien Zustande, oder sie nehme 8 bis 10 mal weniger Raum ein; mithin hat er sich die Compression nicht einmal angenähert so stark zusammengedrängt vorgestellt, wie solches thatsächlich

stattfindet. Die Luft endlich, im Wasser eingeschlossen, hat ihre Zusammendrückbarkeit verloren, und überdies noch ihre Ausdehnbarkeit.

Vielleicht hat man dennoch zu sehr die Art, wie die Luft in Wasser und anderen Flüssigkeiten eingeschlossen ist, bewundert; man hat dieses Phänomen in einem Sinne betrachtet, der etwas Wunderbares ihm beilegt; dieses aber schwindet bei einer anderen Auffassung. Grobsinnlich kann man Luft ansehen wie Baumwolle oder Wolle, oder wie Schwamm, und noch weit schwammiger, als alle anderen Körper oder Conglomerate, mit denen man sie vergleichen könnte. Diese Vorstellung ist sehr geeignet zu erklären, woher die beträchtliche Zusammendrückbarkeit stammt, [**282**] woher auch die ausserordentliche Ausdehnbarkeit, so dass sie zu einem grossen Volumen ausgebreitet werden kann.

Herr *Mariotte* hat auch diese Vorstellung sich angeeignet; um aber zu erklären, wie die Luft, trotz ihrer Spannkraft, so stark im Wasser zusammengedrückt sein könne, hat er zu einer andern Voraussetzung gegriffen. Er nahm an, Wasser löse ebenso Luft auf, wie gewisse Salze; er hat schöne Versuche ersonnen, zur Stütze dieser Anschauung. Er hat Wasser sieden lassen und es dadurch seiner Luft beraubt. In diesem Zustande verschloss er das Wasser in einer Flasche mitsammt einer Menge Luft; mit letzterer geschah dasselbe, was mit einem Stücke Zucker oder Salz sich ereignet hätte; die Luftblase nahm allmählich ab und verschwand schliesslich gänzlich; daraus schloss Herr *Mariotte*, sie habe sich im Wasser aufgelöst, und wie Wasser nur eine gewisse Menge Salz auflösen kann, so löst es auch Luft in einer bestimmten Quantität auf; denn vergeblich bietet man ihm eine neue Luftmenge dar, wenn die erste hinreichend gross war, oder wenn das Wasser mit der Zeit mehrmals kleine Mengen Luft aufgenommen hatte.

Dieser Gedanke, der mir Anfangs sehr zusagte, schien mir später manche Schwierigkeiten zu enthalten. Ich vermag nicht Herrn *Mariotte* zuzugeben, dass es nicht mehr, wie er meint, Luft (de l'air) sei, was im Wasser enthalten sei, sondern bloss Luftstoff (de la m a t i è r e aérienne). Er meinte, die Luft sei zersetzt (décomposé), um ihrer Eigenschaft beraubt sein zu können. Wasser, welches Salz aufgelöst enthält, Säuren, Königswasser, welches Metalle aufgelöst enthält, bergen eben Salze, Gold, Silber, Kupfer u. s. w. in sich, aber nicht bloss Salz-, Gold-, Silberstoff. Salz ist nicht zersetzt im Wasser,

sondern bloss zertheilt. Was an Herrn *Mariotte*'s Vorstellung mir am misslichsten erschien, war die Frage, wie denn die aufgelöste, d. h. zersetzte Luft so schnell wieder in ihrer früheren Form auftreten könne. [**283**] Ein starker Zug der Luftpumpe, eine geringe Erwärmung, lässt sofort Luft hervortreten; diese Luftmaterie, diese aufgelöste und zersetzte Luft ist also im Stande, in einem Augenblicke dem Wasser zu entweichen in seinem gewöhnlichen Zustande. Ich weiss, dass die aus dem Wasser entweichende Luft verglichen werden kann mit Metall und Salz, die gefällt werden, und dass die Niederschläge sich plötzlich (promptement) bilden: wenn aber Metall oder Salz zersetzt gewesen wären, so würden sie nicht so plötzlich in ihrer ersten Form wiedererscheinen; die der gefällten Metalle weicht übrigens ab von der Form, die sie vor der Auflösung hatten. Auch scheint mir Herr *Mariotte* seine Annahmen mehr als nöthig war, erweitert zu haben; statt anzunehmen, das Wasser könne Luft auflösen, — eine Lösung übrigens, die ziemlich schwer zu begreifen wäre — genügt die Voraussetzung, das Wasser könne die Luft durchdringen, dieselbe netzen, und man hätte Alles zur Hand, was zur Erklärung erforderlich erscheint.

Bleiben wir dabei, die Luft mit schwammartigen Körpern zu vergleichen, in welche Wasser eindringen kann, so dass sie durchtränkt werden, und wir werden uns nicht mehr wundern, dass die ins Wasser eingedrungene Luft aufhört compressibel zu sein, und dass sie wenig Platz einnimmt. Umwickele ich einen Schwamm mit Membranen, so dass das Wasser nicht eindringen kann, und tauche den Schwamm ins Wasser, und halte ihn mittelst eines irgendwie am Boden befestigten Fadens, so wird der Schwamm ebenso compressibel sein, wie in der Luft. Wenn mit einem Kolben oder anderswie ich das Wasser presse, so wird dasselbe sinken, weil der Schwamm gezwungen wird, weit weniger Raum einzunehmen, seine Theile ziehen sich zusammen und finden Platz in den leeren Stellen, die sie sonst zwischen sich zu erhalten streben, das Wasser nimmt den freigewordenen Raum ein. Lassen wir mit dem Drucke nach, so kehrt der Schwamm in seinen vorigen Zustand zurück, das Wasser steigt wieder auf. Nehmen wir von unserem Schwamm die Hülle fort, so kann das Wasser sich im Innern ausbreiten; lassen wir ihm die nöthige Zeit, um alle Poren des Schwammes auszufüllen; [**284**] üben wir jetzt wieder mit einem Kolben einen Druck aus, so

wird das Wasser nicht weichen, wie vorhin, oder nur sehr wenig. Der Schwamm ist jetzt incompressibel oder fast incompressibel; seine gedrückten Theile finden keine leeren Stellen mehr vor, in die sie ausweichen könnten, das Wasser hat dieselben angefüllt; das hineingedrungene widersteht dem nachdrängenden. Wenn nun Luft, wie ein Schwamm, von Wasser durchdrungen werden kann, so dass letzteres die leeren Stellen in jener einnimmt, so muss die Compressibilität schwinden.

Die immense Kraft, die einige Physiker glaubten annehmen zu müssen, um die Luft comprimirt im Wasser zu erhalten, wird in Folge unserer Hypothese hinfällig; die im Wasser eingeschlossene Luft kann nicht mehr verdichtet sein, als sie es in der Umgebung ist in Folge des Atmosphärendruckes, oder wenn etwas mehr, so in Folge des Wasserdruckes.

Man hat gemeint, die Luft sei im Wasser sehr stark verdichtet; man nahm eine ganz andere Vertheilung in derselben an, als der Fall ist: denn um nochmals auf unseren Schwamm zurückzukommen, nehme man zwei Gefässe, deren eines Schwammfragmente enthält, das andere Wasser bis zu $^{9}/_{10}$ des Inhaltes. Soll nun Jemand die Schwammstücke ins Wassergefäss thun und dafür sorgen, dass das Gefäss gerade voll werde, wenn es ausser dem Wasser noch den Schwamm enthält; und man fragt den Aufgeforderten, um wie viel er den Schwamm wird comprimiren müssen, so könnte er antworten, er habe den Schwamm auf ein 10 mal kleineres Volumen zusammenzudrücken; danach werde der 10 mal so dichte Schwamm den 10. Theil des Gefässes einnehmen, der noch anzufüllen war. So wenigstens haben die meisten Physiker geantwortet, in Hinsicht auf die im Wasser eingeschlossene Luft. Aber man könnte mit Recht antworten, dass man, ohne den Schwamm zu comprimiren und zu verdichten, ihn in das bis auf $^{1}/_{10}$ volle Gefäss hätte hineinbringen können; man brauche ihn nur allmählich hineinzuthun, [**285**] so dass die Theile gut durchtränkt werden, und dass, wenn Alles eingebracht wäre, das Gefäss mit Wasser und Schwamm gerade voll sein würde, weil das Wasser die im Schwamm vorhandenen leeren Stellen einnähme und die Summe dieser Poren $^{9}/_{10}$ des Totalvolumens des Schwammes betrüge. Da es zwischen den Lufttheilchen leere Stellen gäbe, wie beim Schwamm, die das Wasser einnehmen kann, so braucht die Luft nur wenig

Platz im Wasser einzunehmen, ein Raum, der sehr gering erscheint im Vergleich zu dem Volumen ausserhalb des Wassers. Luft verhält sich gerade so, wie unser Schwamm, ausgenommen in Hinsicht darauf, dass sie von allen uns bekannten Stoffen der dünnste ist, da ihr Gewicht zu dem des Wassers sich wie 1 zu 800 verhält; daher könnte im Wasser sich ein dem Wasser fast gleiches Volumen Luft befinden ohne merkliche Vermehrung des Volumens. Denn wenn das Wasser alle leeren Stellen der Luft ausfüllte, so würden 800 Raumtheile Wasser und 800 Raumtheile Luft zusammen nur ein Volumen 801 ergeben. Vielleicht übertreiben wir hierbei die Kleinheit der Wassertheile, wenn wir dieselbe uns so denken, dass die kleinsten leeren Stellen der Luft ausgefüllt werden: wir besitzen keine Versuche, die solch eine Annahme erfordern. Wir sahen, dass 54 Raumtheile Luft im Weingeist $^1/_4$ Grad Raum einnehmen oder etwas mehr; wegen dieses kleinen Ueberschusses, lassen wir nur 50 Raumtheile Luft dem $^1/_4$ Grad entsprechen, dann werden 800 Raumtheile Weingeist mit 800 Raumtheilen Luft ein Volumen von nahezu 804 einnehmen.[14])

Man sollte sich nicht scheuen, den Wassertheilchen solch eine Kleinheit zuzusprechen; von allen Flüssigkeiten besitzt das Wasser vielleicht die kleinsten (les plus tenuës). Viele andere Flüssigkeiten verdanken demselben ihren flüssigen Zustand; wir kennen keine, in welche Wasser nicht leicht eindringe. Wir müssen auch leicht zugestehen, [**286**] dass in der Luft sich leere Stellen vorfinden, die Wasser aufnehmen können; diese Lücken in der Luft sind sehr beträchtlich, wenn dieselbe 3 bis 4 Tausend mal dünner ist als in der Atmosphäre, wie solches zuweilen vorkommt. Diese Lücken hören selbst dann nicht auf, vorhanden zu sein, wenn die Dichtigkeit der der Atmosphäre gleich wird, denn Luft ist sehr condensirbar und immer noch 800 mal dünner als Wasser. Die Hypothese des Herrn *Mariotte* endlich, dergemäss die Luft vom Wasser aufgelöst sei, fordert zudem eine solche Kleinheit der Wassertheilchen, wie wir sie bei unserer Annahme entbehren können.

Wenn wir übrigens die Luft mit einem Schwamme verglichen, so wollten wir bloss eine Vorstellung gewinnen von den Lücken, keineswegs aber die Gestalt der letzteren bezeichnen. Glücklicherweise war es nicht erforderlich, die Annahme soweit zu specialisiren. Wir brauchen keineswegs

zu entscheiden, ob Luft eine Flüssigkeit sei wie etwa Wasser, oder ob sie eine einfache Flüssigkeit (un simple fluide) darstelle, wenn nur ein Volumen Luft ein Haufen kleiner Körnchen ist, wie ein Sandklümplein. Nichts zwingt uns, die Gestalt der Lufttheilchen zu bestimmen, sie zu vergleichen mit kleinen Hohlkugeln oder mit kleinen Bällen, wie einige Physiker wollen, oder mit einer Art Reife, die wie Kugeln angeordnet sind, wie Herr *Hartsoeker* annimmt*). Er will, gleich uns, das Wasser in Luft eindringen lassen, und meint dass die Reifen, in Sphären geordnet, viel grösser seien als die hohlen und durchbohrten Kugeln, unter welchen er sich die Wassertheile vorstellt; aber er scheint diese Annahme weder begründet noch ihre Nothwendigkeit zur Erklärung der vorliegenden Thatsachen benützt zu haben.

Es kümmert uns also die Gestalt der Lufttheilchen nicht, wenn dieselbe nur dem Wasser das Eindringen gestattet; wenn nur jedes Lufttheilchen wie ein Stückchen Schwamm gegen das Wasser sich verhält, das genügt. Von dieser so einfachen Voraussetzung können die zu erklärenden Thatsachen hergeleitet werden. [287] Wir haben schon erkannt, dass die in Wasser eingedrungene Luft keineswegs compressibel zu sein braucht. Eben so leicht ist es zu erkennen, weshalb sie ihre gewöhnliche Ausdehnbarkeit verloren hat. Das Wasser nimmt den Raum ein, der sonst der sich ausdehnenden Substanz zu Gebote stand und in welchen unter verschiedenen Umständen eine grössere Menge Stoff eindringen kann, als in anderen Fällen: jetzt könnte dieser Stoff nur in das Wasser eindringen; hier aber kann er die Luft nur soweit ausdehnen, als er zugleich das Wasser ausdehnt, oder mittelst der dem Wasser ertheilten Ausdehnung; so dass, wenn das Wasser alle Luftlücken ausfüllt, die Luft nur soweit ausdehnbar erscheint, als ihr eigentlicher Stoff (sa matière propre) es ist, also weniger als feste Körper, weniger als Wasser.

Gewiss aber giebt es zwischen den Lufttheilchen leere Stellen, die zu klein sind, um Wasser aufzunehmen, die aber die subtile Substanz, den Feuerstoff, bergen können; und gerade diese kleinen leeren Räume sind es, die es ermöglichen, dass die Luft in den drei möglichen Fällen sich entwickeln kann: 1) wenn das Wasser nicht mehr unter dem gewöhnlichen Drucke steht. 2) wenn das Wasser beträchtlich Wärme

*) Cours de physique, pag. 49 et 50.

empfängt. 3) endlich, wenn das Wasser stark abgekühlt wird. Obwohl die Luft im Wasser nicht merklich compressibel ist, sind doch die vom Wasser nicht durchdrungenen Theilchen zusammengedrückt; sie streben fortwährend sich auszudehnen und thun das, sobald der Druck, unter dem sie standen, nachlässt, wie solches geschieht, wenn man die Luft aus der Campane der Luftpumpe auspumpt und wie es bei allen Versuchen geschah, in denen wir Wasser oder Weingeist in unseren Thermometern von Luft befreiten. Nehmen wir an, diejenigen Lufttheilchen, die sich ausdehnen, befänden sich im Centrum eines Kernes (d'un grain); indem sie sich ausdehnen, wird der kleine leere Raum, in dem sie sich befinden, vergrössert, ja sie werden bald zwischen anderen Theilen neue Lücken erzeugen; ihre Spannkraft vertreibt das Wasser aus den benachbarten Theilen, in denen wiederum ein Gegendruck entsteht. [**288**] Solcher Art wird allmählich das Wasser vertrieben von dem Luftkorn, das es benetzte; dieses Korn, durch sein Volumen leichter geworden, verlässt seinen Ort und vereinigt sich unterwegs mit anderen; so bildet sich eine Blase, die die Oberfläche erreichen kann, wo sie entweicht. Diejenigen Luftkörner (grains d'air), in welche das Wasser weniger eingedrungen ist, entwickeln sich, sobald die ersten Kolbenhübe geschehen sind; die stärker imbibirten Körner haben nicht Kraft genug, das Wasser zurückzudrängen, bis eine sehr grosse Zahl von Kolbenhüben ausgeführt worden ist.

Im zweiten Falle, wo die Luft sich während der Erwärmung des Wassers entwickelt, ist der Grund dem vorigen äquivalent. Eine Vermehrung der Wärme vermehrt die Spannkraft. Diejenigen Theilchen, zwischen denen kein Wasser ist, nehmen Feuer auf; sie wirken wie im vorigen Falle mit Erfolg, sowohl in Hinsicht auf ihre Ausdehnung, als um das Wasser in die Nachbartheile zu drängen, zwischen welchen der Stoff sich sammelt, der die Spannkraft ins Werk setzt.

Im dritten Falle endlich, bei dem einer beträchtlichen Abkühlung des Wassers, condensirt sich das Wasser[15]); es füllt nicht mehr ganz die Stellen aus, die es einnahm; es hinterlässt Lücken, in welche die subtile Materie, also die die Spannkraft vermehrende Substanz, eindringt. Einige besondere Umstände vermehren diese Spannkraft; indess genügt es erkannt zu haben, wie, in allen drei Fällen, die Luft aus dem Wasser sich entwickelt.

Es ist nicht schwieriger zu begreifen, wie später das Wasser sich wieder mit Luft beladen kann, nachdem dieselbe auf irgend eine der genannten drei Arten sich ausgeschieden hat, wenn alle Gründe schwinden, die die Opposition hervorriefen. Das Wasser wird nach und nach die an der Oberfläche befindliche Luft netzen, dieselbe durchdringen, in jedes Korn hineinklimmen, wie es in ein dasselbe berührendes Stück Tuch aufsteigen würde. Das Luftkorn füllt sich so nach und nach mit Wasser, es wird schwerer, [289] es schmiegt sich mehr der Wasserfläche an und endlich durchbricht es letztere und verbleibt im Wasser, wenn es so stark als möglich vom Wasser imbibirt ist.

Der Versuch des Herrn *Mariotte* mit dem gläsernen Fingerhut und andere, genauere Versuche lehren, dass Wasser und viele andere Flüssigkeiten eine Luftmenge enthalten, deren Volumen, bei einer Dichtigkeit gleich der der Atmosphäre, mehrmals das eigene übertrifft.[16]) Wir müssen noch erklären, wie so sehr viel Luft im Wasser enthalten sein kann, ohne dass eine bedeutende Compressionskraft angewandt wird. Um die Schwierigkeit besser hervorzuheben und die betreffende Frage zu beantworten, wollen wir noch einmal zu den Schwammstücken zurückkehren: wir nehmen ein mit solchen gefülltes Gefäss; wir giessen langsam Wasser auf, welches alle Poren erfülle. Man sieht leicht ein, dass die eindringende Wassermenge nur wenig kleiner sein wird, als diejenige, die das leere Gefäss füllt, oder, was dasselbe ist, dass das Wasservolumen fast dem der schwammigen Theile gleichkommt. Aber inmitten unseres gewöhnlichen Wassers finden wir Luft, deren Volumen mehrmals das des Wassers übertrifft. Der zu untersuchende Fall entspricht also der Annahme, dass in unserem Gefäss ausser dem Wasser noch Schwammstücke sich befinden, die das Gefäss mehrmals füllen würden. Um sich nun eine Vorstellung davon zu bilden, in welcher Weise eine so grosse Menge von Körnern (grains) Platz finden könne, genügt es nicht, die Theile, mit denen wir das Gefäss anfüllten, als schwammig anzusehen. Wir denken uns dieselben ähnlich, wie bei vielen Substanzen, die, sobald sie vom Wasser durchsetzt oder benetzt werden, ihre Spannkraft einbüssen, wie z. B. Leder, verschiedene Blasenmembranen, Pappe oder Papier. Kleine Hohlkugeln, kleine Hohlcylinder, und tausend andere Körper von unregelmässiger Gestalt, die man aus diesen Substanzen formte, würden in

einem Gefässe, wenn trocken, einen sehr viel grösseren Raum einnehmen, als dann, wenn sie benetzt sind: [290] wenn man das Gefäss mit trockenen Papierschnitzeln anfüllte, so könnte es zwei- oder dreimal soviele, mit Wasser getränkte, fassen. Gesetzt nun, die Luft werde ebenso wie diese verschiedenen Stoffe geschwächt, sobald Wasser zwischen ihre Theile gedrungen ist und die Stelle des Fluidums einnimmt, die ihre Spannkraft hervorruft, so ist es leicht zu verstehen, wie im Wasser ein Volumen Luft enthalten sein kann, welches, trocken, mit aller Spannkraft versehen, mehrmals das eigene Volumen übertrifft, und dass diese Luft im Wasser sich befindet, ohne dass eine besonders grosse Kraft es in demselben verdichtet. Papier oder Pappe, dem wir die Luft verglichen, würde durch seine Spannkraft manch schweren Körper tragen, während genetzt es nicht einmal der eigenen Last widerstehen könnte. Wenn wir also auch nicht vollständig die erste Ursache der besprochenen Erscheinung aufgedeckt haben, so haben wir doch die Möglichkeit einer ähnlichen Erklärung gezeigt, oder eine solche, die mehreren anderen wohlbekannten Phänomenen zu Grunde liegt, und deren Wirkungsweise wir unschwer begreifen.

Um aber auf die Construction unserer Thermometer zurückzukommen, so glauben wir die Regelmässigkeit ihres Ganges hinreichend gegen die durch grosse Hitze zu befürchtenden Störungen geschützt zu haben. Das praktische Verfahren ist übrigens einfacher, als man glauben sollte. Freilich wird man bisweilen ein Thermometer 15 bis 20 mal in warmes Wasser tauchen müssen, wenn man gründlich alle Luft entziehen wollte, die man bei der Temperatur abzuscheiden vermag, die die Flüssigkeit bis oben in der Thermometerröhre ansteigen lässt; aber diese 15 oder 20 mal wiederholten Processe werden wenig Zeit solchen Arbeitern kosten, die viele Thermometer zugleich verfertigen; man kann mehrere auf einmal in denselben Kessel tauchen, der das warme Wasser enthält, und selbst einzeln geht das Verfahren ziemlich schnell vor sich. Ich glaube indess, es ist nicht nöthig, den Weingeist von der ganzen beschriebenen Menge Luft zu befreien; bleiben ein oder zwei Grad nach, so wird diese geringe zurückgebliebene Menge den Gang nicht stören; und damit wäre die grösste Zahl von Operationen erspart. [291] In den drei ersten wird man 30 bis 40 Grad erhalten; die beiden letzten Grade werden noch mehr als 12 bis 15 Operationen erfordern.

Wir müssen nun noch nachweisen, wie der Thermometergang gegen Störungen bei strenger Kälte geschützt werden könne: obwohl das Verfahren sehr einfach und im Grunde genommen dasselbe ist, wie beim Schutze gegen die Wärme, so haben wir doch den Erfolg erprobt und Versuche mit künstlicher Abkühlung angestellt; wir fanden Thatsachen, die einer genauen Beschreibung in einer besonderen Abhandlung, für welche reichlich Stoff dargeboten würde, werth erscheinen.

Ehe wir schliessen, soll noch erörtert werden, ob es im Gange der Thermometer nicht noch einen Grund zu Unregelmässigkeiten giebt, dem mehr als anderen zu begegnen nothwendig erschiene. In unseren Sitzungen der Akademie bin ich darauf aufmerksam gemacht worden; man meinte, dieser Grund könnte bei den neuen Thermometern viel wirksamer werden als bei den alten; die neuen haben längere Röhren, weil die Flüssigkeit grösseren Spielraum verlangt oder, was dasselbe ist, weil ihre Grade grösser sind als bei anderen Thermometern. Nun ist bei allen Thermometern die Flüssigkeitssäule an sehr heissen Tagen höher, viel höher, als an sehr kalten. Die Differenz zwischen den Ständen ist bei einem Thermometer um so grösser, als seine Grade im Verhältniss zu einem anderen grösser sind. Die Kugel wird mithin bei unseren Thermometern in grosser Sommerhitze viel stärker gedrückt als in der Winterkälte, denn nach den Grundlehren der Hydrostatik ist der Druck, wie klein auch der Röhrendurchmesser sei, doch gleich dem einer Säule von gleicher Höhe und von einem Durchmesser gleich dem der Kugel. [292] So fest auch Glas sei, unbiegsam ist es nicht. Eine Druckvermehrung wird auf die Kugel Einfluss haben, besonders wenn sie nicht vollkommen rund, aber dünnwandig ist; die Capacität muss dann zunehmen. Daraus folgt, dass ein Theil der Flüssigkeit, die bei heissem Wetter die Grade anzeigen müsste, in der Kugel bleibt, deren Capacität zugenommen hat. Die Flüssigkeit wird also zu niedrig stehen, um die richtige Temperatur anzuzeigen. Je mehr der Behälter von der Kugelform abweicht, um so stärker wird die Last wirken, die Capacität zu vergrössern. In der ersten Abhandlung schlug ich vor, statt der Kugel- die Linsenform zu wählen oder die Form einer abgeplatteten Kugel, und das wäre sicher ausgeführt worden, wenn ich willfährige Arbeiter gefunden hätte. Niemals sind die Kugeln völlig rund, dennoch

schlug ich eine Form vor, die noch weniger Widerstand der Deformation darbietet.

Die Gesetze, auf denen diese Schwierigkeiten beruhen, sind wohl bekannt; man möchte aber wissen, wie weit denn, praktisch, die Volumenvermehrung in Folge des Flüssigkeitsdruckes gehe und ob es lohne, ihr zu begegnen.

Man hat die Wahl zwischen den Methoden, die sich darbieten zur Entscheidung, ob eine der Flüssigkeitshöhe entsprechende Druckvermehrung die Capacität unserer Thermometerkugeln so stark vermehre, dass man sie berücksichtigen müsse. Eine Methode besteht darin, dass man die Kugel eines Thermometers sammt dem Rohre mit Wasser anfüllt, mit dem Finger die angefüllte Röhre verschliesst, dann das Thermometer umkehrt und die Röhre in Wasser taucht; alsdann nimmt man den Finger fort, der die Röhre verschloss. [293] In dieser Lage ist die Kugel nicht bloss nicht mehr von der Flüssigkeitssäule gedrückt, die vorhin, in anderer Lage, die Capacität zu vergrössern strebte, sondern eben diese Wassersäule hält einem Theile der Säule der atmosphärischen Luft (de la colomne de l'atmosphère) das Gleichgewicht, mithin ist der convexe Theil der Kugel stärker belastet als vorhin; also strebt nicht bloss die Spannkraft der Theilchen der Kugel dieselben dem Centrum zu nähern, sondern die Vermehrung der Last (l'augmentation de charge) bewirkt dasselbe. Mithin muss das Volumen der Kugel abnehmen oder, was dasselbe ist, sie muss einen Theil Wasser in die Röhre treten lassen und aus der Röhre muss ein Theil ins Gefäss fliessen. Verschliesst man jetzt wiederum mit dem Finger, hebt das Thermometer aus dem Wasser und richtet es wieder auf, es dabei immer verschlossen haltend, so muss zwischen dem Finger und der Flüssigkeitsoberfläche im Rohr ein Vacuum sich bilden, gleich der Vermehrung der Capacität der Kugel in dieser Stellung im Vergleich zur entgegengesetzten. Es entsteht wirklich ein leerer Raum zwischen dem Finger und der Wasserfläche, aber ein so kleiner, dass er bei der Graduirung der Thermometer keine Beachtung erheischt. Die unregelmässigsten Kugeln, die längsten Röhren gaben nie $^1/_4$ und etwa höchstens $^1/_8$ Grad. Ich habe auch ein flaches Gefäss geprüft, in Form und Grösse nahe gleich den halbpfündigen Theebüchsen. Der leere Raum betrug noch keinen halben Grad. Die Differenz der Säulenhöhen bei diesen Versuchen ist aber das Doppelte von dem beim Spiel der Thermometer; die Unregelmässigkeiten bei der

ungünstigsten Form würden von der strengsten Kälte bis zur höchsten Hitze nur $^1/_4$ Grad und bei den Kugeln nur $^1/_{16}$ Grad betragen, und diese Ungleichheit würde sich proportional auf alle Zwischengrade vertheilen.

[**294**] Eine noch einfachere, ebenso gute Methode, um die Wirkung der Säule auf die Kugel zu untersuchen, besteht darin, dass man Jemanden anstellt, am oberen Röhrenende eines offenen Thermometers zu saugen, so stark als möglich, und zu sehen, ob jetzt die Flüssigkeit in der Röhre höher einsteht, als früher, und wieviel sie sich wieder senkt, wenn er aufhört zu saugen.

Aber das einfachste Verfahren und das geeignetste, wenn man sich in Bezug auf das täglich im Gebrauch befindliche Thermometer Sicherheit schaffen will, besteht darin, an dem Thermometer selbst zu beobachten, ob ein Unterschied in der Höhe der Flüssigkeitssäule einen merklichen Unterschied des Standes im Gefolge hat. Wir theilen hier die Methode sammt einem Beispiele mit. Es stehe die Flüssigkeit bei 30° über dem Gefrierpunkte ein, was will ich jetzt erfahren? Ich will erfahren, ob sie nicht bei 31° oder 32° stehen müsste, und ob die Höhe der Säule von 30° unter dem Gefrierpunkte nicht die Capacität der Kugel um 1° oder 2° vergrössert habe. Um das zu entscheiden, greifen wir zu einem Mittel, welches schon in dieser Abhandlung angewandt wurde; wir neigen das Thermometer, bis der 30. Grad ebenso hoch über der Kugel steht, wie bei aufrechter Stellung es der Gefrierpunkt war. Kurz, ich kann durch Neigung des Thermometers die drückende Säule nach Belieben vermindern. Wenn in dem Maasse, als ich es neige, die Flüssigkeit vom 30. Grade emporsteigt, so erkenne ich daran, dass meine Kugel sich zusammenzieht. Bleibt aber die Flüssigkeit merklich an derselben Stelle bei jedweder Neigung, so ist das ein Beweis dafür, dass die Capacität meiner Kugel nicht so stark sich ändert, dass Grade oder Bruchtheile von solchen schwinden. Bei keinem Thermometer neuerer Construction habe ich bei irgend welcher Neigung eine merkliche Aenderung eines Bruchtheiles eines Grades wahrgenommen. [**295**] Man muss freilich bekennen, dass bei geneigter Stellung man weniger genau den Stand abzulesen vermag, als bei aufrechter. Bei geneigter Röhre erfüllt die Flüssigkeit nicht die ganze letzte Gradstrecke; sie bildet die Form eines Nägelchens (onglet). Aber mit dem Auge schätzt man hinreichend genau den Ueber-

schuss nach vorne, der compensirt wird von dem, was nach hinten zu fehlt. Noch besser beurtheilt man die Wirkung, wenn vor der Prüfung bei aufrechter Stellung des Thermometers man mit einem Fädchen die Röhre am Rande der Flüssigkeit umgiebt. Wenn man jetzt das Thermometer neigt, so sieht man, dass die Flüssigkeit über den Faden tritt auf der unteren Seite der Röhre, während sie auf der entgegengesetzten Seite eine leere Stelle zurücklässt.

Wenn also ein Thermometer in seinem Gange corrigirt werden müsste, wegen der Ungleichheit der Säulen, so würde man sofort den Betrag erfahren. Auch haben wir weitläufig im Anfange dieser Abhandlung einen Fall erläutert, bei welchem die Flüssigkeit bei geneigtem Rohre höher stand, als bei verticalem; wir haben gezeigt, dass solches von einer gewissen Menge Luft herstammt, die nicht mit dem Weingeist vereinigt ist, aber doch in der Kugel bleibt.

Zum Schluss wiederholen wir, was schon anderswo gesagt war. Wir sind weit entfernt zu glauben, dass die nach unserem Vorschlag construirten Thermometer vor allen Unregelmässigkeiten gesichert seien; aber diese noch etwa vorhandenen hindern uns nicht, zu behaupten, dass wir alle nur erforderliche Genauigkeit erreicht haben und selbst Alles, was nöthig sein könnte. Ein Grund zu Unregelmässigkeiten, der noch nicht erwähnt worden ist und dem man zu begegnen unterlassen wird, besteht darin, dass die Grade, die die Röhre messen, keine bestimmte Grösse haben. [**296**] Sie sind bald grösser, bald kleiner. Sie sind auf Papier aufgetragen, welches auf einer Holzplatte aufgeklebt ist. Nun dehnen sich Holz und Papier durch Feuchtigkeit aus und verkürzen sich durch Trockenheit und zwar um messbare Grössen bei einer Länge, wie die der Thermometer. Doch zweifle ich, ob man, um genauere Thermometer zu erhalten, die Platten aus Holz durch solche aus Metall oder Glas ersetzen soll; die letzteren würden selbst durch Wärme ausgedehnt werden, durch Kälte sich verkürzen. Es wäre lächerlich, die Präcision bei physikalischen Arbeiten bis zu einem gewissen Punkt hinaufzuschrauben, was ebenso unmöglich wie unnöthig wäre.

[165] III.

Ueber das Volumen der Flüssigkeitsgemische; Untersuchung der Frage, ob zwei vermengte Flüssigkeiten ein Volumen haben gleich der Summe der Theilvolumina, oder ob dasselbe grösser oder kleiner sei, als die Summe der Bestandtheile.

Von

René Antoine Ferchault de Réaumur.

Mém. de l'Acad. de Paris 1733.

Ein Maass voll Bleikugeln und ein ebenso grosses Maass sehr kleiner Bleikörner mit einander vermischt werden nicht zwei Maass geben. Die kleinen Körner werden im letzteren Falle die Räume einnehmen, die bei grossen Kugeln, als sie allein beisammen waren, leer blieben. Je kleiner die kleinen Kugeln, um so weniger Volumen wird das Gemisch haben. Die Molekeln der Flüssigkeiten (les molécules des liqueurs) können in gewissem Sinne als Theilchen von unendlicher oder ausserordentlicher Kleinheit angesehen werden; giesst man Wasser oder eine beliebige Flüssigkeit in ein Gefäss, das Sand, Asche oder ein anderes Pulver enthält, und zwar so viel, als das Gefäss fassen kann, so kann man noch sehr viel Wasser im Vergleich zur Grösse des Gefässes hinzugiessen[17]). Mögen die Sandkörner auch noch so stark zusammengepresst worden sein, ihre Gestalt und ihre Härte bedingt, dass sie Zwischenräume haben, die das Wasser anfüllen kann.

Wir sehen also deutlich, was geschehen muss, was beim

Mengen von festen Körnern verschiedenen Durchmessers, und was beim Uebergiessen einer Masse solider Körner geschieht. Auch sehen wir, dass, wenn Wasser in Holz, Leder, Papier eindringt, das Volumen dieser Körper zwar zunimmt, aber nicht um den ganzen Betrag zugefügter Massen.

Vermischen wir aber verschiedene Flüssigkeiten, [166] welches Volumen wird dann das Gemenge haben? welches Verhältniss zu dem anfänglichen Rauminhalt und zwar je nachdem diese Flüssigkeiten eine Tendenz haben sich zu mischen oder nicht? was wird z. B. geschehen, wenn man Wasser zu Weingeist giesst, oder Wasser zu Oel? Bis jetzt ist, so viel ich weiss, nichts geschehen zur Beantwortung dieser Fragen, und doch dürften sie wichtig sein bei verschiedenen physikalischen Erscheinungen. Vielleicht hat man geglaubt, es gäbe hier nichts zu erforschen, man hat gemeint, die Theilchen der Flüssigkeiten seien einander so nahe als möglich, oder wenn man Zwischenräume zwischen denselben annahm, so hat man geglaubt, dieselben seien nicht geeignet, andere Flüssigkeitstheilchen einzuschliessen. Dennoch haben Physiker dem Wasser Poren (des pores) zugesprochen und haben gemeint, dass aufgelöste Salze in diese Poren träten; zu solchen Poren müsse man Zuflucht nehmen, um die Vertheilung aufgelösten Salzes zu erklären, zugleich mit der Thatsache, dass durch die Aufnahme des Salzes das Gesammtvolumen nicht so stark anwächst, als man es erwarten sollte; solche Annahme schien nicht nöthig, um den Vorgang beim Mischen von Flüssigkeiten, in Hinsicht auf das Volumen, darzustellen, denn man wusste nicht, dass es hier auch etwas zu erklären gebe. Wollen wir sehen, ob der Vorgang nicht einer Aufmerksamkeit werth sei; um sogleich ein Beispiel zu behandeln, mengen wir Wasser mit Weingeist.

Giesst man Wasser zu Weingeist oder Weingeist zu Wasser, so werden die anfangs getrennten, klaren, sehr durchsichtigen Flüssigkeiten bei der Mischung ein trübes Aussehen haben, bisweilen milchig undurchsichtig; und dieses bald mehr, bald weniger, je nach der Wassermenge; aber bei jeder Mengung von Wasser und Weingeist ist die zusammengesetzte Flüssigkeit trüber, als die getrennten es waren, man sieht dicke Fäden (filets), die trüber sind als das übrige. Diese Fäden bestehen aus zahllosen anderen Fäden, es scheinen sich Strähnen abzuwinden (des écheveaux qui se dévident). Schliesslich wird die Flüssigkeit wieder ganz trans-

parent, bald später, bald früher. [**167**] Es sieht so aus, als ob eine Auflösung vor sich gehe, und die Trübung dauert an, bis Alles gelöst ist, weil bis dahin Alles sozusagen in Confusion ist.

Um aber auf unsere einer Aufklärung bedürfende Frage zurückzukommen: ist das Volumen der aus Wasser und Weingeist zusammengesetzten Flüssigkeit gleich dem Volumen der getrennten Bestandtheile? ist es kleiner oder grösser? Herr *Geoffroy* berichtet uns in den Memoiren der Akademie von 1713 p. 53 einen merkwürdigen Versuch; nachdem er mit dem Thermometer festgestellt, dass Wasser und Weingeist, derselben Luft ausgesetzt, gleiche Temperatur haben, tauchte er das Thermometer in das Wasser und goss rectificirten Weingeist, an Gewicht dem Wasser gleich, hinzu; die Mischung trat ein und zugleich eine Vermehrung der Wärme, die das Thermometer beeinflusste, die Flüssigkeit stieg merklich an. Es scheint, als könnte dieser Versuch uns in Stand setzen, unsere Frage zu beantworten; wo Wärme vermehrt wird, da findet auch Volumenvermehrung statt, wenigstens eine vorübergehende. Das Volumen der beiden Flüssigkeiten, während sie sich mischen, müsste also grösser sein, als vorher, wenn man die Volumina im getrennten Zustande misst.

Dennoch, gegen Erwarten, ist das Volumen des Gemenges kleiner, als das der getrennten Flüssigkeiten, selbst in dem Momente der Mischung. Schon lange hegte ich den Wunsch, zu untersuchen, ob etwas Bemerkenswerthes eintrete beim Mischen; ich konnte nichts Sicheres finden: meine neue Construction der Thermometer, bei denen Alles sehr genau ausgemessen ist, setzte mich in den Stand, die fragliche Mischung zu prüfen, doch geschah es in einem Augenblicke, wo ich gar nicht daran dachte. Ich wollte nur Thermometer anfüllen, und Herr *Pitot*, nachdem er eine gewisse Anzahl Theile Wasser in ein Thermometergefäss gegossen hatte, fügte eine gewisse Anzahl Theile rectificirten Weingeistes hinzu. [**168**] Man bezeichnete die Stelle im Rohr, wo dieser Weingeist einstand. Die beiden Flüssigkeiten konnten sich noch nicht mischen, und waren es auch in der That noch nicht, der leichtere Weingeist stand über dem Wasser. Man schüttelte tüchtig das Thermometer, um die Mischung hervorzurufen. Als das Thermometer wieder vertical stand, machte mich Herr *Pitot* darauf aufmerksam, dass unsere Flüssigkeit unter der Marke stand, so dass wir hätten Flüssigkeit zufügen müssen, um die

Marke zu erreichen. Diese Thatsache schien mir sehr bemerkenswerth, es bewies doch, dass Wasser und Weingeist, mit einander vermengt, ein Volumen geben, das nicht dasselbe ist, wie vorher, als sie getrennt waren, denn im Thermometer blieben einige Grade leer.

Sofort gedachte ich mich davon zu überzeugen, ob diese Volumenverminderung wirklich statthabe, ob sie nicht einigen anderen Umständen beizumessen, ob sie nicht eine Folge der Benetzung der Wände und des Fingers sei, den man beim Verschluss angewandt während des Durchschüttelns. Mein Verdacht war bald gehoben, ich konnte nicht mehr zweifeln, der Volumenschwund war ein reeller.

Um aber eine Vorstellung von der Quantität dieses Schwundes zu erhalten, nahm ich ein Rohr mit angeschmolzener Kugel, goss 50 Maass Wasser hinein und dann 50 Maass guten rectificirten Weingeist. Letztere wurden vorsichtig eingegossen, damit möglichst wenig Vermischung stattfinde; der Weingeist glitt längs den Wänden des Rohres und der geneigten Theile der Kugel herab; die Flüssigkeiten mischten sich thatsächlich nicht, wenigstens nicht merklich. Eine trübe oder weissliche Fläche bezeichnete die beiderseitige Berührung. Mit einem Faden markirte ich den Stand des Weingeistes, [**169**] dann bewegte ich die Kugel so lange als nöthig war, um Wasser und Weingeist gut mit einander zu mischen. Sobald das geschehen war, sah ich die Volumverminderung des Gemenges; die Flüssigkeit stand jetzt unter dem Faden. Ehe ich den Betrag dieser Verminderung maass, liess ich die Flüssigkeit ruhen, sowohl damit sie Zeit gewinne, die während des Processes erzeugte Wärme zu verlieren, als auch damit die an den Wänden haftende Masse sich ansammele. Als ich glaubte, es werde keine Flüssigkeit mehr niedersteigen, maass ich die leere Stelle zwischen der Flüssigkeit und der Marke. Um dieselbe zu füllen, brauchte ich nahezu zwei jener Maasstheile, deren 50 jede Flüssigkeit getrennt hatte. Es war also das Gemenge um etwa $^1/_{50}$ kleiner, als das Gesammtvolumen der getrennten Flüssigkeiten.

Was bringt diesen Volumenschwund hervor, der gewiss grösser ist, als man es erwarten konnte? Giebt es leere Stellen in einer oder in beiden Flüssigkeiten, die sich füllen bei der Mischung? Sollen wir uns denken, die Flüssigkeiten verhielten sich zu einander wie etwa Bleikugeln und Bleikörner? Sollten ebenso, wie die Körner die Zwischenräume der Kugeln

ausfüllen, auch hier eine Flüssigkeit feiner geartet sein, als die andere und die leeren Stellen der letzteren einnehmen? Dann würden in unserem Versuche die leeren Stellen $^1/_{25}$ des Volumens der Flüssigkeiten ausmachen. Während aber die Bleikugeln und Bleikörner nur durch äussere Kräfte so geordnet werden können, dass sie möglichst wenig Platz einnehmen, so haben Flüssigkeiten selbst die Kraft, diese Anordnung herzustellen. Die Lösungen der härtesten Körper, die zuweilen so sehr schnell durch gewisse Flüssigkeiten zu Stande kommt, verräth uns die ausserordentliche Bewegung, die in den Flüssigkeiten vorhanden ist, obwohl Alles zu ruhen scheint. [**170**] Wenn Wasser mit Weingeist sich mengt, geschieht eine Art Auflösung.

Die uns geläufigsten Lösungen sind die von festen Körpern in flüssigen. Die Säuren (les eaux fortes) zertheilen die härtesten und schwersten Metalle in so kleine Theilchen, dass sie in der Flüssigkeit sich erhalten, gleichsam in ihr schweben können; wir sehen täglich Lösungen von Salzen, Zucker etc. in Wasser; wir sind aber nicht gewohnt, Lösungen von Flüssigkeiten in Flüssigkeiten zu sehen. Dennoch muss es solche geben; eine Flüssigkeit, deren Theilchen feiner sind (plus tenuës), wird eine andere, gröbere, auflösen, sie wird die Molekeln der letzteren zertheilen, und das gilt ganz in demselben Sinne, wie wir von Auflösung fester Stoffe in Flüssigkeiten reden; wie Wasser Zucker löst, so löst auch Wasser dicken Syrup; beide Processe sind vielleicht nur darin unterschieden, dass beim Zucker Wasser gegen gröbere Theilchen wirkt, als beim Syrup; in letzterem Falle bewirkt das Wasser stärkere Vertheilung (l'eau pousse la division plus loin). Was wir vom Wasser und Syrup sagen, können wir auf viele Flüssigkeiten übertragen, insbesondere auf Wasser und Weingeist. Bei ihrer Vermengung geschieht dasselbe, was bei den bekanntesten Auflösungen vorkommt; sobald das Vermischen beginnt, zeigen die zuvor klaren Flüssigkeiten eine Trübung (trouble), Luftbläschen steigen empor in grosser Zahl; eine Erwärmung tritt ein, ein deutliches Zeichen einer Gährung (fermentation) und mithin einer Auflösung (et par conséquent dissolution).

Der Weingeist ist uns besonders durch seine Brennbarkeit bekannt, diese ist das Charakteristische; wir wissen, dass er eine Art sehr brennbaren Oeles ist, welches im Wasser schwebt, in demselben aufgelöst ist: wir wissen selbst, dass

im reinsten Weingeist, dem bestrectificirten, die Menge spirituöser und brennbarer Materie sehr klein ist. Aber trotz des grossen Betrages an Phlegma selbst beim bestrectificirten Weingeist scheinen die vorstehenden Versuche zu beweisen, und die späteren werden es noch deutlicher darthun, das dasselbe nicht hinreicht, um den brennbaren Theil des Weingeistes gut aufzulösen. [171] Der Gedanke, den wir zum Voraus zu erfassen wünschen und den wir im Nachfolgenden noch stützen werden, ist der, dass, solange der brennbare Theil des Weingeistes noch nicht mit der genügenden Quantität Wasser verbunden ist, noch leere Stellen vorhanden sind, die Wasser aufnehmen können. Von allen bekannten Flüssigkeiten ist Weingeist eine der leichtesten, und das ist nicht schwer zu erklären, wenn wir sie gewissermaassen als ein schwammiges Gebilde ansehen, so dass eine beträchtliche Wassermenge aufgenommen werden kann ohne merkliche Vergrösserung des Volumens, — dass das Wasser Raum in demselben findet wie in einem Schwamm.

Ich habe viele Versuche angestellt, um zu erforschen, wie weit die Volumverminderung beim Mischen von Wasser und Weingeist getrieben werden könne, wenn man in verschiedenen Verhältnissen die Mischung ansetzt. Bald ward mehr Weingeist gegeben, bald mehr Wasser, und beides in mehrfacher Weise variirt. Beispielsweise 100 Weingeist mit 25, 50, 75 Wasser, dann wieder 100 Weingeist mit 150, 200, 300 etc. Wasser. Die Mischungen wurden stets mit der vorhin geschilderten Vorsicht vorgenommen, d. h. ich goss in eine mit einer Röhre verbundene Kugel oder einfach in eine an einem Ende verschlossene Röhre die gewünschte Menge Wasser; dann wurde eine bekannte Menge Weingeist sehr vorsichtig zugefügt, damit keine Mischung entstünde. Mit einem Faden wurde der Stand des Weingeistes, also das Volumen der beiden noch unvermischten Flüssigkeiten, bezeichnet. Dann wurde die Röhre bewegt und durch Schütteln die Mischung veranlasst; um die Volumverminderung zwischen dem Faden und dem Flüssigkeitsgemische zu bestimmen, füllte ich wohlbekannte kleine Mengen hinzu, bekannte Bruchtheile der ganzen Portion. [172] Waren 2 Th. Wasser mit 1 Th. Weingeist vermischt, so erhielt ich die grösstmögliche Verminderung durch Mischen von Wasser mit meinem Weingeist; sie betrug nahe $^1/_{20}$ des Weingeistvolumens; denn um den Schwund zu ergänzen, brauchte ich 5 Maass, deren

100 an Weingeist genommen waren. Bei 3 bis 4 Th. Wasser mit diesem Weingeist erhielt ich dasselbe, wie bei 2 Th. Wasser; das in letzterem Falle genommene Wasser genügt, um vollständig den Weingeist aufzulösen, oder wenigstens um alle Lücken zu füllen, in welche einzudringen ihm gestattet ist; nimmt man weniger Wasser, so ist die totale Volumverminderung nicht mehr ein so grosser Bruchtheil des angewandten Weingeistes.

Um von den bei weniger Wasser vorkommenden Unterschieden eine Vorstellung zu geben und um zu zeigen, dass zur Ausfüllung aller leeren Räume des Weingeistes doppelt soviel Wasser als Weingeist erforderlich ist, wird eine kleine Versuchsreihe genügen:

1) 100 Th. Weingeist und 50 Th. Wasser. Volumverminderung $2^1/_2$°.

2) Diesen verdünnten Weingeist goss ich aus und gab 50 Th. Wasser, denen ich langsam den soeben verdünnten Weingeist zufügte. Nach Bezeichnung des Standes rief ich durch Schütteln die Vermischung hervor und erhielt neuerdings eine Verminderung von $1^1/_2$ Th. — Beide Versuche zusammen ergaben also 4 Theile und im letzten Versuche waren Weingeist und Wasser in gleichem Verhältniss enthalten.

[**173**] 3) Diese aus gleichen Theilen Weingeist und Wasser bestehende Mischung wurde ausgegossen, und wiederum 50 Th. Wasser ins Rohr gebracht. Zu diesen wurden 200 Maass Mischung aus 100 Th. Wasser und 100 Th. Weingeist hinzugefügt; nach der Mischung erhielt ich etwa $^1/_2$ Theil Verminderung.

4) Endlich im vierten Versuche wurde die erhaltene Mischung nochmals zu 50 Th. Wasser gegossen, es entstand noch kein $^1/_4$ Th. Verminderung.

Wenn später diese Flüssigkeit einer anderen aus 1 Th. Weingeist, 2 Th. Wasser bestehenden hinzugegeben wurde, entstand gar keine Volumverminderung. Wurde sehr wenig Wasser zu Weingeist gemischt, z. B. 1, 2 oder 3 Th. Wasser zu 100 Th. Weingeist, fand ich keinen merklichen Volumenschwund.

Will Jemand behaupten, die Höhlungen des Wassers (les vuides de l'eau) würden durch Weingeist ausgefüllt, so ist es nicht leicht zu beweisen, dass im Gegentheil die Höhlungen als im Weingeiste vorhanden angenommen werden müssen.

In der That ist die letztere Annahme die natürlichere, weil die dünnere Flüssigkeit am meisten Höhlungen besitzt, und weil Wasser das Lösemittel ist, welches die Theile des zu lösenden Körpers durchdringen muss[18]).

Vielleicht aber zweifelt man daran, dass der fragliche Volumenschwund dem Eindringen der einen Gattung von Theilchen in die Lücken der anderen zuzuschreiben sei; man ist vielleicht eher geneigt anzunehmen, dass während des Mischens, während der Gährung eine Verdampfung eintritt, der allein die Volumverminderung zu verdanken sei. Diesen Zweifel werden wir durch bald zu beschreibende Versuche beheben, indem wir zeigen, dass auch bei völligem Verschluss der Mischröhre das Volumen nicht weniger schwindet, als im offenen Rohr.

[**174**] Andere Versuche gestatten uns, unmittelbar zu beweisen, dass die Höhlungen zwischen den Theilchen der einen Flüssigkeit von denen der anderen eingenommen seien. Nehmen wir ein kleines Glasgefäss, wie es bei Flüssigkeitswägungen angewandt wird und wie es Herr *Homberg* in den Memoiren der Akademie von 1699 beschrieben hat. Ist das Gewicht desselben bekannt, so giesse man Weingeist ein: mit hinreichend feiner Waage bestimmen wir das Gewicht. Dann leeren wir das Gefäss und füllen es mit Wasser, und wägen wiederum; wir erhalten das Verhältniss des specifischen Gewichtes des Wassers zu dem specifischen Gewichte des Weingeistes (nous avons alors le rapport de la pesanteur spécifique de l'eau à la pesanteur spécifique de l'esprit de vin); mithin könnten wir berechnen, wie gross das specifische Gewicht der im gegebenen Verhältniss vorgenommenen Mischung sein werde, wenn während dieses Processes die specifischen Gewichte des einen und des anderen unverändert blieben; oder, was dasselbe ist, es wäre leicht das Gewicht des zum Theil mit einer bekannten Menge Wasser, zum andern Theil einer bekannten Menge Weingeist gefüllten Maassgläschens zu berechnen, wenn letzterer über dem Wasser sich erhielte. Füllt man das Gläschen jetzt mit einer Mischung in bekannter Proportion und wägt, so findet man ein grösseres Gewicht als zuvor, wo die Flüssigkeiten getrennt waren, ein deutlicher Beweis, dass die Dichtigkeit oder, was dasselbe ist, das specifische Gewicht während des Mischens sich vergrössert hat. Bei der Wägung des Wassers ergaben sich 98 Gran. Bei der Füllung mit Weingeist fand

man $82^1/_2$ Gran. Gäbe man jetzt $^2/_3$ Wasser, $^1/_3$ Weingeist über dem Wasser, so hätte man $65^1/_3$ Gran Wasser und $27^1/_2$ Gran Weingeist, zusammen $92^5/_6$ Gran. Aber statt dieser gesonderten Füllung füllte man das Gemenge aus 2 Th. Wasser und 1 Th. Weingeist ein. [**175**] Die Wägung ergab 94 Gran, also war die Dichtigkeit, das Gewicht der Mischung grösser, als es aus der Summe der Componenten folgen würde; man ersieht leicht, dass der Anwuchs in dem Maasse statthatte, wie die Volumverminderung, die wir kennen gelernt haben, es forderte. Letztere, sagten wir, sei $^1/_{20}$ des Weingeistvolumens, und die Vermehrung des specifischen Gewichtes ist hier auch nahe gleich $^1/_{20}$ des Weingeistgewichtes. Das letztere betrug $27^1/_2$ Gran; wir haben $1^1/_6$ Gran Gewichtsvermehrung, welches nur um $^5/_{28}$ Gran, d. h. um weniger als $^1/_5$ und mehr als $^1/_6$ Gran von dem berechneten abweicht: dieser kleine Unterschied kann auf so viel Umstände bezogen werden, dass er nichts überraschendes enthält. Auch kann die Verminderung etwas weniger als $^1/_{20}$ betragen und die Differenz würde verschwinden.

Da die Höhlungen im Weingeist, die das Wasser erfüllen kann, nur $^1/_{20}$ des Weingeistvolumens betragen, so könnte es scheinen, als müssten 20 Th. Weingeist mit 1 Th. Wasser genau erfüllt werden können, da man dem Weingeist die gerade genügende Menge Wasser darbietet. Allein offenbar kann das Wasser nur in dem Maasse, als Weingeist aufgelöst und zertheilt ist, in die Lücken dringen, die ihm verschlossen waren, wenn die Weingeisttheilchen sich berührten; erst wenn das Wasser die letzteren so weit von einander getrennt hat, wie erforderlich ist, damit sie sich nicht mehr berühren, kann es die Höhlungen einnehmen. Man muss die gehörige Menge Wasser nehmen, um den Weingeist gut aufzulösen, sonst dringt das Wasser nur so weit ein, als es vermag; deshalb müssen 2 Th. Wasser mit 1 Th. gutem Weingeist vermengt werden: Wasser in grösserem Betrage giebt keine grössere Wirkung.

[**176**] Nichtsdestoweniger muss man, jenachdem der Weingeist mehr oder weniger rectificirt ist, mehr oder weniger Wasser zufügen, um den ganzen möglichen Mischungsschwund zu erhalten; daher können unsere Versuche, die nur merkwürdig (curieuses) waren, auch nützlich werden, sie bergen eine eigenthümliche Methode, die verschiedenen Weingeistqualitäten zu prüfen und zu bestimmen. Ein Weingeist von

der Qualität der unserigen, gemischt mit der doppelten Menge Wasser, wird $^1/_{20}$ Schwund geben, oder 5 Maass auf 100. Eine schwächere Qualität wird nur 4 oder $3^1/_2$ Maass zeigen, und eine stärkere mehr als 5 Maass. Ein sehr schwacher Weingeist, etwa der unserige, würde durch den Versuch seine Qualität verrathen: vermischt man denselben mit der doppelten Menge Wasser, wird er auf 100 Th. nur $2^1/_2$ Th. Schwund geben, während wir vor der Verdünnung 5 Th. erhielten. Endlich sieht man, dass allgemein die stärksten Qualitäten Weingeist mit gleichen Theilen Wasser mehr Volumenverminderung geben, als schwächere Sorten.

Man weiss, dass Weingeist und Wasser viel Luft enthalten, dass letztere in denselben nicht compressibel ist, wir haben anderswo die Ursache dieser Erscheinung zu erörtern versucht. Auch weiss man, dass die der Flüssigkeit entwichene Luft, von einer Dichtigkeit gleich der atmosphärischen, einen grösseren Raum einnimmt, als in der Flüssigkeit. Aus diesen Thatsachen könnte man schliessen wollen, die Volumenverminderung beim Mischen sei der dabei entweichenden Luft zuzuschreiben; [177] das Wasser z. B. nehme die Stellen im Weingeist ein, die die Luft inne hatte, die während der Gährung sich entwickelt, bis die Mischung vollendet sei.

Um zu erfahren, ob dieser nicht unwahrscheinliche Gedanke zutrifft, goss ich 50 Th. Wasser in eine Röhre mit ihrer Kugel und fügte langsam, wie gewöhnlich, 50 Th. Weingeist hinzu, bezeichnete den Stand mit einem Faden; dann verschloss ich das obere Ende mit durchfeuchtetem Pergament möglichst fest. Die äussere Luft konnte nicht eindringen, auch konnte die innen vorhandene nicht hinaus. Noch ein wesentlicher Umstand muss erwähnt werden: der Verschluss, der Pergamentdeckel, war nicht stramm über die Röhre gespannt; der beabsichtigte Zweck verlangte, dass er sich etwas nach aussen erhob. Durch diesen Verschluss sollte ermittelt werden, ob die aus den beiden Flüssigkeiten während des Mischens entweichende Luft gleich dem Volumenschwunde sei, — die Luft von einer Dichtigkeit gleich der atmosphärischen, — oder ob dieses Volumen grösser oder kleiner sei. Im ersten Falle muss das Pergament seine Stellung behalten, im zweiten musste es nach aussen, im dritten Falle nach innen treten, in Folge des überwiegenden äusseren Druckes.

Nachdem Alles vorbereitet war, wurde die Kugel bewegt und geschüttelt, um die Mischung hervorzurufen. Sofort nach

Beginn der letztern wurde der Verschluss concav nach aussen; er wurde in die Röhre hineingezogen durch den äusseren Luftdruck, ein untrüglicher Beweis des reellen Vacuums in der Röhre, sowie dafür, dass die ganze aus Wasser und Weingeist entweichende Luft, bei atmosphärischer Dichtigkeit, weniger betrug als der Mischungsschwund. [178] Wenn wir den letzteren auf die vom Wasser angefüllten Höhlungen des Wassers beziehen, wie Alles uns auf diese Annahme führt, so folgt daraus, dass im Weingeist es leere Stellen giebt, die nicht mit Luft von atmosphärischer Dichtigkeit angefüllt sind, und dass beim Mischen Wasser in diese Lücken treten kann.

Durch den letzten Versuch ist auch bewiesen, dass die während der Gährung austretende Luft nicht so gross ist, wie es nach dem Aussehen der Bläschen den Anschein hat. Wenn dieselben auftreten, sind sie durch die erzeugte Wärme ausgedehnt und nach dem Austritt vermindert sich ihr Volumen.

Ich habe Wasser mit Burgunderwein in verschiedenen Verhältnissen gemengt. Nicht die geringste Volumverminderung trat ein: das war auch vorauszusehen, da selbst die durch 2 Th. Wasser auf 1 Th. Weingeist verdünnte Qualität ganz ohne Contraction mit Wasser gemengt werden kann.

Ich habe 50 Th. Leinöl mit 50 Th. Terpentinöl gemengt. Die Mischung gelang zwar, aber ganz ohne Verminderung.

Milch und Wasser geben keine merkliche Contraction.

Natronsalz löste ich bis zur Sättigung in Wasser auf und nahm 50 Th. davon in eine Röhre; auf derselben war eine Marke da angebracht, wo noch 50 Th. einer anderen Flüssigkeit einstehen würden; langsam füllte ich die letzten 50 Th. an mit einem kräftigen guten Essig, langsam, damit die Gährung nicht einen Theil der Flüssigkeit aus dem Rohr schleudere. Nachdem Alles eingeführt und die Gährung beruhigt war, fand sich ein leerer Raum, der aber sehr klein war, etwa $^1/_2$ Maasstheil. Wäre derselbe nur eine Folge davon, dass die Säuren des Essigs sich mit den Alkalien des Sodasalzes verbunden haben, so konnte er nicht gross sein, [179] weil diese Säuren keinen grossen Raum im Essig einnehmen.

Eine sehr geringe Volumverminderung erhielt ich auch beim vorsichtigen Mischen zweier Th. destillirten Essigs mit einem Th. gesättigter Weinsteinlösung.

Es ist ehr schwierig, genau die Volumverminderung zu messen, wenn Flüssigkeiten zu stürmisch und plötzlich sich verbinden (qui fermentent trop vivement ensemble). Ein Theil der Flüssigkeit wird durch das Aufbrausen leicht hinausgeschleudert: die plötzliche Eruption der Luftblasen lässt die Flüssigkeit wie einen Regen hervorsprudeln.

Um diesem Uebelstande zu begegnen, habe ich, nachdem in ein Rohr eine gemessene Quantität gesättigter Weinsteinlösung eingefüllt war, langsam in dasselbe Rohr ein doppeltes Volumen destillirten Essigs gebracht und sofort, ehe die Fermentation sich einzustellen Zeit hatte, d. h. als sie kaum begonnen hatte, das Rohr zuschmelzen lassen, so rasch als möglich. Jetzt war keine Verdampfung zu befürchten, aber ich hatte nicht gedacht, dass bald die Fermentation aufhören würde; dass die Säuren des Essigs nicht in das gelöste Salz werden eintreten können. Wohl wusste ich, dass zur Fermentation Luft nöthig sei, aber ich habe nicht daran gedacht und weiss nicht, ob Andere daran gedacht haben würden, dass in zwei Flüssigkeiten, die sich so leicht mischen wie Essigsäure und eine Weinsteinlösung, die Verbindung (la fermentation) aufhören werde, sobald die Röhre zugeschmelzt war; doch aber trat dieses ein, und mochte ich das Rohr bewegen, schütteln, umwenden, Tage lang, Alles ging ohne merkliche Fermentation vor sich. Endlich schmelzte ich das Rohr wieder auf, und sofort trat eine heftige Fermentation ein. Unmittelbar nach Verschluss der Röhre tritt gewiss Fermentation ein, aber sehr bald wird sie unterbrochen; im ersten Augenblicke entweicht Luft und zwar sehr viel mehr, als beim Mischen von Weingeist mit Wasser. Diese Luft befindet sich nun in comprimirtem Zustande, sie drückt gegen die Oberfläche der Flüssigkeit und hindert neue Luft sich zu entwickeln; [**180**] endlich hört alle Bewegung auf, mithin auch alle Fermentation, weil die Luft der Flüssigkeiten nicht fortgeschafft werden kann. Vielleicht finde ich ein anderes Mal Gelegenheit, über diesen letzten Versuch zu sprechen, der mich zu anderen geführt hat, die von hohem physikalischem Interesses sind.

Die Zahl der möglichen Mischungen verschiedener Flüssigkeiten ist übrigens sehr beträchtlich, und ich habe mich wohl gehütet, dieselben erschöpfen zu wollen. Auch wollte ich hier nur einen ersten Versuch mittheilen, der zu weiteren Untersuchungen anregen und die Aufmerksamkeit wecken

sollte, ob beim Mischen verschiedener Flüssigkeiten eine Volumverminderung entstünde. Alle sauren, alle salzigen, alle alkalischen, alle öligen, alle Metalle oder andere Substanzen in Auflösung enthaltenden Flüssigkeiten bieten sich dar, um eine jede von ihnen mit einer anderen ihrer und anderer Gattungen zu combiniren. Auch mussten sie sämmtlich mit Wasser gemengt werden oder mit sehr wässerigen Flüssigkeiten; und sollte bei einigen Mischungen eine Volumvermehrung eintreten, oder gar eine so grosse, dass sie den Volumenschwund von Weingeist und Wasser übertrifft, so wäre ich nicht überrascht, allein es wäre eine neue, sehr bemerkenswerthe Thatsache. Auch wird man Flüssigkeiten combiniren, die grössere Verminderung zeigen, als Weingeist und Wasser, und Wasser mit einer anderen Flüssigkeit. Hiervon wollen wir ein Beispiel einer höchst einfachen Combination geben, die wir dennoch vielleicht gar nicht versucht hätten, wenn uns nicht Herr *Petit le Médecin* auf das Beachtenswerthe derselben aufmerksam gemacht hätte. Als wir allen Verdacht gegen die factische Volumverminderung bei Wasser und Weingeist forträumen wollten, als wir zeigen wollten, dass sie nicht eine Folge der Verdampfung sei, [181] dass die zusammengegossenen Flüssigkeiten in vollem Betrage im Gemisch vorhanden seien, da haben wir erwähnt, dass wir zum Tarirfläschchen unsere Zuflucht genommen und mit demselben gefunden haben, dass das specifische Gewicht während der Vermischung zugenommen hatte, indem das Tarirfläschchen mit dem Gemisch aus Weingeist und Wasser mehr wog, als wenn beide Flüssigkeiten getrennt von einander sich überlagerten. Herr *Petit le Médecin*, der viele Versuche über Salzlösungen angestellt hat, theilte uns mit, dass er denselben Weg betreten habe, um die Mischungen gleicher Theile Wasser und verschiedener Säuren zu prüfen; dass er Salpetersäure, Salzsäure, Weinsteinöl und Vitriolöl, eine jede dieser Substanzen mit einem gleichen Volumen Wasser vermischt hatte; vorher waren die Flüssigkeiten und das Wasser gesondert gewogen worden in demselben Tarirfläschchen; schliesslich hatte das mit dem Gemisch gefüllte mehr gewogen, als sich bei einer Füllung von Säuren und Wasser gefunden hätte, die sich überlagern. Die Mischung aus Wasser und Vitriolöl gab die grösste Gewichtsvermehrung. Das specifische Gewicht derselben war um $^1/_{14}$ grösser, als aus der Zusammensetzung bei gleichem Volumen beider Bestandtheile zu

berechnen wäre. Oft finden wir Wahrheiten auf verschiedenen Wegen und von verschiedenen Gesichtspunkten aus. Eine Kugel mit einer Röhre wurde mit Wasser gefüllt; wenn man Salz hineinschüttet, so steigt das Wasser bis zu einer gewissen Höhe auf, um sogleich nach Auflösung des Salzes wieder zu fallen. Dieser Versuch hatte Herrn *Petit le Médecin* angeregt zu untersuchen, was im Gemenge von Säuren und Wasser sich zeigen werde. Diejenigen, welche zuerst bemerkt haben, dass das Wasser im Rohre sinke in dem Maasse, als es Salz auflöst, haben den Schluss gezogen, dass das gelöste Salz oder wenigstens ein Theil desselben sich in die Poren des Wassers begebe.

[**182**] Ich sehe nicht ein, in wie fern die aus dem vorigen Versuch gezogene Schlussfolgerung nothwendig sei, um zu verstehen, warum das Wasser in dem Maasse, als es Zucker auflöst, sinkt. Es findet sich ein anderer, weniger gesuchter Grund, der sicherlich Antheil hat an der Erscheinung und auf welchen man dieselbe gänzlich zurückführen muss, bis nachgewiesen wird, dass er nicht genüge, was aber nicht leicht geschehen wird. Werfe ich in ein mit Wasser gefülltes Gefäss einen kleinen Stein, der aus Sand besteht, wie unser Sandstein, so wird die Oberfläche des Wassers sofort ansteigen um soviel, als das Volumen, welches der Stein verdrängt, beträgt. Nehmen wir nun an, die Sandtheile des Steines seien durch ein Klebemittel vereinigt, welches leicht von Wasser durchtränkt wird, so werden allmählich die Theilchen von einander getrennt werden, und der Stein wird in ein Sandhäufchen umgeformt sein. Aber in dem Maasse, als der Stein sozusagen aufgelöst sein wird, wird die Oberfläche des Wassers sinken, weil zwischen den Sandkörnern Poren waren, die nicht mehr bestehen werden nach der Trennung der Sandkörner, weil das Wasser den Raum einnimmt.

Was wir soeben von einem Sandstein gesagt haben, giebt ein Bild von dem Vorgange der Auflösung des Zuckers. Auch der härteste Zucker ist schwammig, das ist sogar beim blossen Anblick bemerkbar, und wir können uns nicht von der Vorstellung befreien, dass Lücken in allen festen Salzen bestehen, auch wenn wir sie nicht sehen. Grobe Salzkrystalle, grosse Salzwürfel bestehen aus zahllosen kleinen Krystallen, Nadeln, Würfelchen u. s. w., die zwischen einander Lücken haben, die beim Lösen von Wasser erfüllt werden. Man weiss sogar, dass in einigen Salzen, obgleich sie fest sind, eine grosse

Menge Wasser eingeschlossen ist. Wir können nicht bestimmen, wie gross die Summe aller dieser Lücken ist; doch scheint sie beträchtlich zu sein im Vergleich zum Gesammtvolumen, da die Volumverminderung des Wassers während der Auflösung darauf zurückgeführt werden muss, dass es die Lücken ausfüllt.

[**183**] Diese Bemerkungen dienen uns übrigens auch zur Ergründung der Volumenverminderung beim Mischen zweier Flüssigkeiten; denn wenn die kleinen Sandkörner in dem auflösenden Wasser schweben könnten, und sie selbst noch aus anderen Theilchen bestünden, die durch Zusatz von Wasser gelöst werden könnten, so hätten wir eine Flüssigkeit, in welcher löslicher Sand schwebte, der, beigemengt dem Wasser, eine zusammengesetzte Flüssigkeit gäbe, deren specifisches Gewicht grösser wäre, als die Berechnung aus den Bestandtheilen ergeben hätte.

Diese Anschauungen wollen wir für die Mischung von Wasser und Schwefelsäure verwerthen, bei welcher vielleicht die grösste Volumverminderung eintritt im Vergleich zum Volumen der dem Wasser beigemengten Flüssigkeit. Es wurden 10 Maass Vitriolöl in ein Rohr gegossen; dann wurden 10 Maass Wasser hinzugefügt. Der Schwund nach der Vermischung betrug $^3/_4$ Maass. Zehn weitere Maass Wasser wurden der mit 10 Maass Wasser verdünnten Säure zugegossen, dabei schwand $^1/_2$ Maass. Nochmals wurden 10 Maass Wasser der durch 20 Maass verdünnten Säure hinzugegossen. Nach tüchtiger Vermischung erhielt man wieder $^1/_2$ Maass Volumverminderung. Noch 10 Maass Wasser ergaben noch $^1/_5$ Maass Schwund. Im Ganzen also betrug die Volumverminderung nahe 2 Maass oder $^1/_5$ des Vitriolöles. In einem anderen Versuche wurden sogleich 40 Maass Wasser auf 10 Maass Vitriolöl gegossen und man erhielt 2 Maass Schwund. Bei 50 Maass Wasser auf 10 Maass Oel wurde nicht mehr erhalten; also genügen 40 Maass, um Vitriolöl vollkommen aufzulösen.

Was wir oben über die Prüfung der Stärke des Weingeistes ausgesprochen haben, bezieht sich [**184**] ebenso auch auf verschiedene verdünnte Säuren, so dass wir nichts hinzuzufügen brauchen.

Die allmähliche Zunahme der Volumenverminderung bei weiterem Zusatze von Wasser zu Vitriolöl beweist, dass vier Theile Wasser nöthig sind, um 1 Theil Vitriolöl aufzulösen.

Wir gewinnen also die Vorstellung, dass die stärksten, concentrirtesten Säuren nicht in einer solchen Menge des Lösungsmittels schweben, die zur vollkommenen Auflösung nöthig ist; dass sie vielmehr aus Krystallen und Nadeln bestehen, die selbst wieder aus Krystallen und Nadeln zusammengesetzt sind. Wasser in grösserer Menge zertheilt die letzteren und füllt die Lücken aus, in welche es vorher nicht eindringen konnte. Daher der Volumenschwund bei neuem Wasserzusatz oder nach vollkommenerer Auflösung.

Ein sehr bekanntes Experiment, das zunächst sehr frappirt, besteht darin, dass, wenn man auf gewisse Körper, z. B. Blei, eine sehr concentrirte Säure giesst, z. B. sehr starke Salpetersäure, dieselbe fast gar nicht wirkt; wendet man aber eine mit gewöhnlichem Wasser verdünnte Säure an, so wirkt dieselbe stärker. Die Erklärung ist in Vorstehendem enthalten. Die erstere Säure kann nur mittelst grober Salzmolekel wirken, deren Ecken nicht der Porengrösse im Metall entsprechen, während die zweite mittelst feinerer Theile wirken kann, mittelst spitzerer Ecken.[19])

Ich fühle wohl die Schwierigkeit, die entsteht, wenn man die Volumenverminderung nur auf die Lücken der Salzkörner zurückführt. [185] Unser Vitriolöl besteht aus Salz und Wasser, und zwar Wasser in grosser Menge. Aber die schwersten Körper haben soviel Höhlungen zwischen ihren Theilen, ihr wahres Volumen ist dermassen klein, dass man sich nicht wundern kann über die Lücken eines Körpers, dessen Auflösung sehr weit gediehen ist.

Ueberlegt man die Sache wohl, so kann man schwerlich die Ansicht aufrecht erhalten, dass die Salze in die Poren des Wassers eindringen, und dass so der Volumenschwund zu begründen sei. Denn nach dieser Anschauung müsste ich fragen, warum ein Wasserzusatz zum Gemenge aus 5 Th. Wasser und 1 Th. Vitriolöl keine weitere Volumenverminderung erzeugt. Man wird ohne Zweifel antworten, deshalb, weil das dargebotene Wasser genügende Lücken gehabt hat, um alles Salz zu bergen. Alle Poren des Wassers sind voll, alle Salztheile untergebracht. Wenn ich aber mehr Vitriolöl zu dem Gemische aus 5 Th. Wasser und 1 Th. Vitriolöl zugebe, so tritt dennoch ein Volumenschwund ein; woher soll das kommen, wenn ich nicht mit dem neuen Vitriolöl viel neue Lücken hinzugebracht habe, denn es sind Salzmassen hineingeführt, die gröber sind, als die im Wasser gelösten,

zwischen deren Theilchen es also grössere Höhlungen giebt, wie ähnlich beim Sandstein die Theile gröber sind, als deren Bestandtheile bei weiterer Auflösung.

Wenn Salz erst durch Eindringen in die Wasserporen gut aufgelöst wäre, so würde daraus folgen, dass ein Maass Wasser stets ein gleiches Gewicht oder ein gleiches Volumen eines jeden festen Salzes in Lösung enthalten könnte, weil es gleich viel Poren für alle enthielte; man weiss aber, wie sehr ungleich die Salzmengen sind, die Wasser aufgelöst zu enthalten vermag.

[197]

Beobachtungen von zween beständigen Graden auf einem Thermometer.

Von

Andreas Celsius.

(Abhandlungen der schwedischen Akademie. IV. Bd. 1742. p. 197—205.)

Die Thermometer sind jetzo bey uns sehr im Gebrauche, meistens an die Wand zu hängen, theils zum Putze, oder auch zu sehen, wie viel die Wärme in einem Zimmer ab oder zunimmt.

Die gemeinsten sind die sogenannten florentinischen, welche aus Deutschland nach Schweden kommen, und alle in sofern nichts nutze sind, weil sie kein gewisses Maass der Grade der Wärme und Kälte geben, und ausserdem bey einerley Wärme nicht einerley Grad weisen. Welches gleichwol bey Beobachtungen der Witterung, als auch bey verschiedenen öconomischen und physikalischen Versuchen, die einen gewissen Grad der Wärme erfordern, nöthig ist.

Diese Fehler nun hat man nachgehends zu verbessern angefangen, theils dass man in den Thermometern einen beständigen Punct gesuchet, und davon nach Zunehmen und Verminderung der Wärme die Grade gerechnet, von denen jeder, z. E. ein $^1/_{100000}$ der ganzen Masse des Weingeistes oder Quecksilbers im Glase beträgt; oder man hat auch zween beständige Puncte in einer gewissen Entfernung von einander gefunden, welche man, ohne sich um die ganze Masse zu bekümmern, in eine gewisse Anzahl Grade getheilet, und damit die Veränderung der Wärme bemerket hat.

[198] Was bey diesen Methoden zu erinnern ist, darf ich hier nicht ausführen, da solches Doctor *Martins* in seiner schönen

Abhandlung von den Thermometern weitläuftig gethan hat*). Ich für mein Theil finde keine bequemere und sicherere Art, die Grade auf einem Thermometer abzutheilen, als einige Puncte von der Höhe des Quecksilbers zu bestimmen. Wenn das Wasser kocht und zu frieren anfängt, und darnach die übrigen Grade zu verzeichnen, besonders, wenn man den Fehler vermeidet, der von der ungleichen Erweiterung des Thermometerglases durch die Wärme, und den daraus entstehenden Schwierigkeiten eines Grades Grösse, in Ansehung des ganzen Raumes, den das Quecksilber im Thermometer einnimmt, zu bestimmen herrühret, worinnen vorbemeldter Herr D. *Martins*,[20]) auch Herr *Weitbrecht*, und Herr *Poleni* mit mir übereinstimmen, wie aus den Schriften der petersburgischen Akademie, für 1736. VIII. Bande, 310. und 449. Seite zu sehen ist. Weil nun *Halley*, *Taglini* u. a., dass diese beyden Puncte beständig sind, in Zweifel ziehen, so habe ich es der Mühe werth geachtet, mich dessen durch verschiedene Versuche zu versichern.

Was den Punct des Gefrierens angeht, hat Herr *Réaumur* solchen bey warmer Witterung mit einer durch die Kunst gemachten Kälte bestimmet. Andere haben warm Wasser im Winter in die Kälte gesetzet, und das Thermometer so lange darinnen gelassen, bis es zu frieren anfing, dass sich nämlich das Wasser obenher mit einer Schale überzog. Obgleich diese Art nicht sehr fehlen kann, wenn sie mit Achtsamkeit angestellet wird, so habe ich doch daraus, [199] das niemand leugnen wird, das Wasser habe einerley Grad der Kälte, wenn es zu gefrieren, oder Eis und Schnee zu werden anfängt, mit dem Eise, das wieder im Wasser zu zerschmelzen beginnt, gefunden. Der Punct des gefrierenden Wassers lasse sich am genauesten und bequemsten bestimmen, wenn man das Thermometer im klebrichten Schnee wenigstens eine halbe Stunde stehen lässt. Welches auch Herr *Newton* schon lange beobachtet hat, wie aus der philosophischen Transaction 270 N. erhellet, wo er ohne seinen Namen zu

---

*) Man sehe auch Hrn. *Bülfingers* Abh. de thermometris et eor. emendatione Act. Petr. T. III p. 196. Herr *de Lisle* hat das Seinige in den Memoires pour servir â l'histoire et au progres de l'Astronomie, de la Geographie et de la Physique, 267. Seite beschrieben. Eine leichte Art Thermometer nach des Herrn *von Réaumur* Methode zu machen, findet man im hamburgischen Magazin. I. Band. 2. Stück. 125. Seite. *Kästner*.

melden, eine Tafel von verschiedenen Graden der Wärme gegeben hat.

Diese Versuche habe ich nun zwey Jahre lang in allen Wintermonaten, bey allerley Wetter, und mancherley Veränderungen des Barometers, wiederholet, und allezeit genau eben den Punct am Thermometer gefunden. Ich habe auch nicht allein, wie Herr *Newton* anmerket, das Thermometer in klebrichten Schnee gesetzt, sondern auch bey starkem Winter habe ich kalten Schnee in mein Zimmer ans Feuer gesetzt, bis er klebricht wurde. Ich habe auch einen Kessel mit klebrichtem Schnee, nebst dem Thermometer, in einen eingeheizten Ofen gesetzt, und allezeit gefunden, dass es einerley Punct gewiesen, so lange der Schnee dichte um die Thermometerkugel lag. Ueber dies, dass Niemand daran zweifeln darf, ob der Schnee an allen Oertern in ungleicher Polhöhe einerley Wärme bis zum Schmelzen erhalte, habe ich ebenfalls in Torneå 6 Grad näher nach dem Pole als Upsal, mit einerley Thermometer, nämlich Herrn *Réaumurs* seinen, genau eben den Grad bemerket, der 0,2 oder $^1/_5$ Grad über seinen bemerkten Gefrierungspunkt war. Woraus auch erhellet, dass in Paris, welches der Linie 17 Grad näher liegt als Torneå, das Wasser ohngefähr in eben dem Grade gefriert, weil der kleine Unterschied von $^1/_5$ Grad sich Herrn *Réaumurs* Art, den Gefrierungspunct zu finden, zuschreiben lässt.

Was den andern beständigen Punct betrifft, so ist bekannt genug, dass das Wasser nicht mehr Hitze annimmt, [200] nachdem es einmal zu kochen angefangen hat, so lange man auch mit dem Sieden fortfährt, so, dass das Quecksilber im Thermometer allezeit einerley Punct bemerket, was auch Herr *Taglini* dagegen einwendet.

Was diesen Punct veränderlich machen kann, besteht nur vornehmlich in zwo Ursachen. Die erste, dass das Wasser zuerst auf dem Boden zu kochen, und von dar auf die ganze Oberfläche Blasen hinauf zu schicken pflegt, sind aber solche nicht hoch gestiegen, so steht das Quecksilber alsdenn beständig auf einerley Höhe; wenn aber das Feuer mit Gebläse jählinge weiter getrieben wird, so, dass die Wasserblasen sehr zu poltern anfangen, und sehr gross werden, auch hoch in die Höhe fahren, und wenn das Gefässe fast voll ist, über die Ränder gehen, so steigt das Quecksilber etwas höher, und steht dabei unruhig, so lange man mit solchem starken Kochen fortfährt. Diess hat auch Herr *Newton* gefunden, der in

vorerwähnter Tafel saget: Wasser habe angefangen zu kochen, bey einer Hitze von 33 Gr., u. es könne nicht leichte durch Kochen stärkere Hitze als 34 Gr. und $^1/_2$ in sich nehmen, so, dass er 34 Grad für die Hitze des Wassers setzet, wenn es stark kochet (vehementer ebullit).

Damit also alle die, welche sich Thermometer machen wollen, diesen Punct auf einerley Art bestimmen können, will ich melden, was für ein Verfahren ich dabey am bequemsten gefunden habe. Ich lasse das Wasser in einer Theekanne, von 4 Zoll etwa dicke, so lange über dem Feuer stehen, bis es zu kochen und aus der Schnauze heraus zu rinnen anfängt. Nachgehends setze ich die Theekanne auf eine Feuerpfanne voll glüender Kohlen, und nachdem ich das Thermometer in sie bis auf den Boden niedergelassen habe, lasse ich einen andern mit einem Blasbalge die Kohlen anblasen, bis das Wasser wieder zu kochen anfängt, und da steigt das Quecksilber immer mehr und mehr auf. Ich lasse mit dem Blasbalge fortfahren, bis die Wasserblasen sehr gross werden, und sich über die ganze Oberfläche [201] erheben. In diesem starken Kochen lasse ich das Quecksilber wenigstens 6, 7, bis 8 Minuten stehen, und merke alsdenn seine Höhe für den Punct des kochenden Wassers an. Es ist hierbey artig, dass bei jählingem Herausnehmen des Glases aus dem kochenden Wasser das Quecksilber ein wenig über den Punct des kochenden Wassers springt und gleich wieder sinkt, weil das Glas von der äusserlichen Kälte in dem Zimmer sich stärker zusammen zieht, und dadurch seinen Raum vermindert als das Quecksilber in ihn*).

Was zweytens den Punct des kochenden Wassers verändert, ist: dass das Wasser mehr Wärme, ehe es kochet, brauchet, wenn der Druck der Luft stärker ist, und so gegentheils. Und wie die Höhe des Quecksilbers im Barometer mit der Schwere der Atmosphäre im Gleichgewichte steht, so hat der erfahrene Mechanicus in Amsterdam, *Fahrenheit*, beobachtet, dass der Punct des kochenden Wassers, bey dem das Quecksilber im Thermometer stehen bleibt, allemal der Quecksilberhöhe im Barometer proportioniret ist.

Ich habe gleichfalls diese merkwürdige Beobachtungen mit verschiedenen Barometerhöhen sehr genau angestellet, und

*) Man sehe von solchen Versuchen Herrn *Leutmanns* Abhandlung Act. Petrop. Tom. IIII. p. 216. *K.*

befunden, dass bemeldete Versuche *Fahrenheits* ihre Richtigkeit haben.

In dieser Absicht habe ich nach Gefallen einen Punct auf meinem Thermometer bezeichnet, unter dem ich allezeit den Punct des kochenden Wassers beobachten konnte, nachdem sich auch das Barometer veränderte, und das in Zehntheilen, oder Granen einer schwedischen geometrischen Linie. Nämlich: [202]

Barometerhöhe.				Thermometerhöhe.	
Grad.	Zoll.	Linie.	Gran.	Unter dem bemerkten Puncte.	
2	6	0	6	1 +	Brunnenwasser K.
				1 +	Flusswasser das 1ste mal.
				0	Flusswasser das 2te mal.
				1 +	Schneewasser.
				1 +	Wasser von der Schlossquelle.
2	5	9	5	2	Brunnenw. A.
2	5	8	9	2 +	Brunnenw. A.
2	5	8	3	3	Brunnenw. A.
2	5	7	6	4 —	Brunnenw. A.
				4 —	Flussw. 1. mal.
				3	Flussw. 2. mal.
2	5	6	8	3	Brunnenw. A. 1. mal.
				3 —	Brunnenw. A. 2. mal.
2	5	4	2	5 +	Brunnenw. A. 1. mal.
				5	Brunnenw. A. 2. mal.
				5	Flusswasser.
2	5	3	3	7	Brunnenw. A.
2	5	2	2	6	Brunnenw. A. 1. u. 2. mal.
				7	Brunnenw. A. 3 mal
2	5	1	9	8 —	Brunnenw. A.
2	5	1	4	8 +	Schneewasser.
				8 —	Flusswasser.
				9 +	Brunnenw. F.
2	5	0	4	10	Brunnenw. A 1 mal.
				8	Brunnenw. A. 2 u. 3 mal.
2	4	9	6	11 +	Brunnenw. F.
2	4	8	9	10 +	Brunnenw. A.
2	4	8	3	9	Brunnenw. A 1 mal.
				10	Brunnenw. A. 2 mal.
2	4	7	8	11	Brunnenw. A.
2	4	7	4	13	Brunnenwasser A.

[203] F. bedeutet einen Brunnen hier in der Stadt, dessen Wasser nicht gut und zum Thee unbrauchbar ist.

K. ein Brunnen mit ziemlich gutem Wasser.

A. ein Brunnen mit gutem Wasser, das ordentlich zum Thee gebrauchet wird.

Alle diese Versuche sind wenigstens zweymal mit einerley Wasser wiederholet worden, aber nur einmal angezeiget, wenn das Quecksilber beydemal gleich hoch gestanden hat.

Es erhellet daraus genugsam, dass des Thermometers Höhe in kochendem Wasser allezeit des Barometers Höhe gemäss ist; nämlich, dass 8 Puncte in dem Thermometer, dessen ich mich bediene, einen geometrischen Zoll Barometeränderung geben, so, dass ein Thermometer, das empfindlich genug ist, oder grosse Grade hat, eben den Nutzen leisten kann, den ein Barometer giebt, wenn man jenes in kochendes Wasser setzet, wobey es leichter mit sich zu führen wäre, als das Barometer, besonders auf Reisen und auf Gebirgen.

Das einzige, was dieses Verhältniss zu einem, oder höchstens zween Granen ändert, scheint daher zu rühren, dass man das Wasser nicht allezeit gleich stark kochen lässt. Vielleicht verursachet auch die Verschiedenheit des Wassers einen kleinen Unterschied, wenigstens sieht man zweymal, dass es im Brunnenwasser F. niedriger steht, als es nach den Verhältnissen der übrigen Höhen seyn sollte, und wiederum steht es im Flusswasser ein wenig höher, als im Brunnenwasser. Aber wie dieser Unterschied noch genauer könnte geprüfet werden, und doch kaum über einen Gran steigt, so kann man ohne einen merklichen Fehler den Punct des Kochens, von was für Wasser man will, brauchen.

Wenn also der Punct des kochenden Wassers beständig bleiben soll, so wird erfordert, eine gewisse Barometerhöhe zu bestimmen, mit dem er allezeit in Verbindung gesetzet wird. Und wie nach allen Beobachtungen der Witterung sowohl hier in Schweden, als anderswo in Europa, die mittlere Höhe des Barometers ohngefähr 25 Zoll 3 Linien beträgt, [204] so ist am besten, den Punct für beständig zu nehmen, den das Thermometer bei besagter Barometerhöhe angiebt.

Ist man also von diesen beyden beständigen Graden versichert, die bey empfindlichen Thermometern in ansehnlicher Weite von einander stehen, so lassen sich die Grade der Thermometer am besten auf folgende Art bezeichnen, dabey

man versichert ist, dass verschiedene solche Thermometer in einerley Luft allezeit einerley Grad weisen werden; und dass z. E. ein Thermometer, das in Paris gemachet worden, bey gleicher Wärme auf eben der Höhe stehen wird, die ein Thermometer, das zu Upsal gemachet worden, anzeiget.

1) Setzet man den Cylinder des Thermometerglases *AB* (siehe Fig. 1) in klebrichten Schnee, und bemerket genau den Punct des gefrierenden Wassers *C*, der so hoch über den Cylinder bey *A*. seyn muss, als ohngefähr die halbe Entfernung zwischen dem Puncte des gefrierenden Wassers *C*. und des kochenden *D*.

2) Wird der kochenden Wassers Punct *D*. bey der Barometerhöhe 25 Zoll und 3 Linien bemerket.

3) Die Weite *CD* in hundert gleiche Theile oder Grade getheilet, so, dass 0 auf *D*. und 100 auf *C*. fällt. Führet man eben diese Grade nachgehends unter *C*. bis *A*. fort, so ist das Thermometer fertig[21].

Wie mein Thermometer auf diese Art eingetheilet ward, so kamen 792 Gran auf die Entfernung *DC*; und weil 8 Gran einen Grad machen, so muss die Veränderung eines geometrischen Zolles im Barometer einen ganzen Grad auf dem Thermometer betragen. Wollte man also ein Thermometer abtheilen, wenn die Barometerhöhe über oder unter der Mittelhöhe, z. E. 26 Zoll, 0 Linie, 6 Gran [**205**] wäre bey *E*, so nehme man die Weite *EA* auf einen Maassstab, z. E. 1196 Gran.

Von dieser Weite nehme man $^1/_{100}$, das ohngefähr 10 Gran ausmachet, die man ohne merkliche Fehler für einen Grad halten kann. Nachgehends sage man: 1 Zoll oder 100 Gran im Barometer geben 1 Grad, der aus zwölf Gran gesetzet würde im Thermometer, wie viel Gran gehören zu der Barometerhöhe über die Mittelhöhe, der 76 Gran in diesem Falle, nämlich 100 : 76 = 12 : 9.

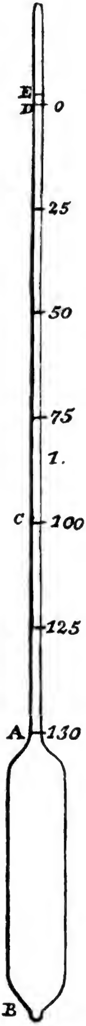


Fig. 1.

Man setzet also 9 Gran vom Maassstabe unter *E.* nach *D.*; wenn die Barometerhöhe über die Mittelhöhe ist, so hat man den rechten kochenden Wasserpunct. Nachgehends theilet man *DC* in 100 Grade u. s. f.

Uebrigens habe ich in dieser Abtheilung die Glasröhre inwendig durchgehends gleich weit angenommen, das, wie ich wol weiss, nicht allezeit richtig seyn kann; doch in so engen Röhren, als zu Quecksilber-Thermometern gebrauchet werden, pflegt die innerliche Höhlung meist ziemlich gleich weit durchaus zu seyn. Wenigstens habe ich in dreyen auf diese Art abgetheilten Thermometern gefunden, dass sie allezeit genau einerley Grad bei allen Veränderungen der Wärme und Kälte wiesen.

Anmerkungen.

Wir bringen in vorliegendem Hefte alle auf Thermometrie bezüglichen Abhandlungen des bekannten Triumvirates *Fahrenheit*, *Réaumur* und *Celsius*, deren Namen durch bleibende Einführung ihrer Skalen historisch denkwürdig geworden sind.

Bei der eminenten Bedeutung des zuerst von *Galilei* construirten Thermometers sind alle auf Vervollkommnung desselben hinzielenden Arbeiten von Interesse. Es dürfte nur wenigen Physikern bekannt sein, dass die jetzt nach jenen drei Namen benannten Skalen der ursprünglichen Bestimmung nicht entsprechen, dass namentlich die Methoden von *Fahrenheit* und *Réaumur* dermassen mangelhaft sind, dass die von denselben eingeführten, aber später anders definirten Skalen es kaum verdienen, nach den Autoren derselben benannt zu werden. Es ist nicht leicht, vom heutigen Standpunkte der Wissenschaft aus ein gerechtes Urtheil über Werke der älteren Zeit zu fällen. In ein und derselben Abhandlung findet man Scharfsinn, Umsicht und Gewandheit neben einer kritischen Blindheit, dass man in der That erstaunen muss, wie oft so ganz naheliegende Einwände vom Autor übersehen werden. Zu einer Verurtheilung aber wird man erst dann sich berechtigt fühlen, wenn es den ersten Lesern solcher Abhandlungen schon damals gelang, die Schwächen zu durchschauen. In dieser Hinsicht müssen wir im Folgenden namentlich auf die Kritiken des *Réaumur*'schen Verfahrens hinweisen.

Unsere drei Autoren nahmen eine äusserst verschiedene Stellung in der Welt ein. Wir wollen in Kürze deren Lebensgang beschreiben:

Gabriel Daniel Fahrenheit war ein Deutscher, Sohn eines Danziger Kaufmannes, der, um das Geschäft zu studiren, nach Amsterdam ging. Er war geboren am 14. Mai 1686 zu Danzig. In Holland legte er sich auf das Studium der Physik, machte Reisen nach England und Holland, wurde

praktischer Glaskünstler in Amsterdam und lebte als solcher von der Anfertigung meteorologischer Instrumente. Dass er dabei zu Ansehen gelangte, beweist der Umstand, dass er Mitglied der Royal Society zu London wurde. Er starb im Alter von 50 Jahren am 16. September 1736 in Amsterdam. Wir besitzen von ihm nur die fünf Abhandlungen, die wir sämmtlich im Texte bringen. Sie sind in lateinischer Sprache geschrieben und enthalten die Beschreibung seiner Thermometer, die eingeflochten wird in die schöne am 2. März 1721 gemachte Entdeckung von der Ueberkaltung des Wassers, ferner die Beschreibung des ersten brauchbaren Gewichtsaräometers in einer noch heute üblichen Form, sowie endlich die Entdeckung der Unabhängigkeit des Siedepunktes vom Luftdrucke und die schöne Erfindung des Thermobarometers. Wir haben der Vollständigkeit wegen die kurze, unbedeutende Abhandlung III mit aufgenommen, weil in vorliegendem Falle in der That leicht sich Alles mittheilen liess, was *Fahrenheit* überhaupt geschrieben hat. Jedenfalls bahnte er einen grossen Fortschritt an, indem er einigermaassen übereinstimmende Skalen fertig brachte. Auch hat er zuerst Quecksilber zu Thermometern verwandt, zu Thermoskopen *Christian Wolff* schon 1709*). Der schwache Punkt sind seine schlecht definirten drei Fixpunkte. Dass der Siedepunkt auf 212 fiel, war blosser Zufall. Eine Eintheilung vom Gefrier- bis zum Siedepunkte in 180 Grade hat *Fahrenheit* nie beabsichtigt.

Am besten hat er wohl den Gefrierpunkt bestimmt, obwohl wir nicht erfahren, wieviel »Eis und Wasser ohne Salz« er »gemischt« habe.

Die Versuche sind meist älter, als das Datum seiner Mittheilungen es angiebt, denn alle 5 Abhandlungen befinden sich in den Phil. Transact. vom Jahre 1724, während schon 1721 die meisten Versuche vorlagen.

Von der Frische des Tones, in dem unser Autor schreibt, sowie von der Bündigkeit seiner Mittheilungen wird der Leser angenehm berührt.

In vollem Gegensatze finden wir *Réaumur*, der, wie es scheint, sich um *Fahrenheit's* fünf Jahre ältere Publicationen nicht gekümmert hat.

René Antoine Ferchault Seigneur de Réaumur, des Angles

*) *Chr. Wolff*, »Aräometriae Elementa« Probl. 36. p. 21. —

et de la Bermondière war drei Jahre älter, als *Fahrenheit.* Er war geboren 1683 in La Rochelle. Er starb am 17. October 1757 in Bermondière, seinem Schlosse im Maine. Er hatte die Rechte studirt, wandte sich jedoch der Technik zu, wurde 1708 Mitglied der Akademie der Wissenschaften zu Paris, wohin er bereits 1703 übergesiedelt war. Er hat sehr viel Technisches publicirt, und kam erst ziemlich spät zur Construction seiner Thermometer und den durch diese angeregten Studien.

In damaliger Zeit finden wir die Arbeiten der französischen Gelehrten oft in einer behaglichen Breite angelegt. Bei *Réaumur* mochte noch der Wunsch, populär zu schreiben und den Glaskünstlern verständlich zu sein, jene Ausführlichkeit in der Beschreibung der Handgriffe und Methoden befördert haben.

Zur vollen Würdigung der Bestrebungen *Réaumur*'s gehört eine Kenntniss der vorangehenden Arbeiten, namentlich der Versuche *Amontons*'s, brauchbare Thermometer herzustellen*). Verständlich wird uns *Réaumur* nur, wenn wir bedenken, dass er 1. mit *Fahrenheit*'s Bestrebungen nicht bekannt war, 2. dass er vom Quecksilber als Thermometerflüssigkeit nichts wissen wollte, und 3. dass ihm das bisher allein brauchbare Luftthermometer nicht genügte. Es stand ihm daher völlig fest, dass er überall vergleichbare Weingeistthermometer zu construiren habe. Trotz der erwähnten Breite der Darstellung lesen sich die Abhandlungen angenehm. Man fühlt dem Autor die Freude am Gelingen seines Werkes ab; die eingeschlagene Bahn verfolgt er unerbittlich, wird auch durch die schöne Entdeckung der Volumencontraction beim Mischen von Flüssigkeiten belohnt. Wir glaubten die bezügliche dritte Abhandlung bringen zu müssen, weil sie mit den beiden ersten zu einem abgerundeten Ganzen gehört.

Réaumur braucht in der That nur einen Fixpunkt zur Construction seiner Thermometer, weil er sich vornimmt die Flüssigkeit zu definiren, die allgemein angewandt werden soll und deren relative Ausdehnung die Grade bestimmt. Principiell ist dagegen nichts einzuwenden. Hätte er Quecksilber dem schwer zu handhabenden Weingeist vorgezogen, so wäre ihm Alles fast tadellos geglückt. Allein das Quecksilber besass nach seiner Meinung bei der Erwärmung ein zu geringes

*) Wir gedenken die bezüglichen Arbeiten *Amontons*'s in den Klassikern zu bringen.

Ausdehnungsvermögen; an der Bestimmung des Weingeistes aber scheiterte er so gründlich, dass er sogar vor der unmittelbar folgenden Kritik der Zeitgenossen nicht bestehen konnte. Mit Staunen lesen wir sein Verfahren zur Bestimmung des Siedepunktes des Wassers. Wenige Jahre später erschien von *George Martine*: »Essays medical and philosophical« London 1740, in welchem Buche ein umfangreicher werthvoller Abschnitt über Thermometrie zu finden ist. *Martine* rügt zunächst die Bestimmung des Gefrierpunktes, da *Réaumur* bei der Grösse seiner Thermometerkugeln nicht lange genug dieselben dem Gefrierpunkt des Eises exponirt. Ueber den anderen Fixpunkt sagt *Martine* wörtlich pag. 202: »Wenn wir Herrn *Réaumur*'s Gefrierpunkt kein Zutrauen schenken können, was sollen wir von dem anderen, dem Siedepunkt sagen? Derselbe ist bei jenem Verfahren völlig vage und unsicher. So wie Wasser, von schmelzendem Zinn umgeben, obgleich es stark siedet, unmöglich über seine Siedetemperatur erhitzt werden kann und kälter als seine Umgebung bleiben muss; gerade so kann Weingeist, in kochendes Wasser gestellt, niemals solch eine Hitze annehmen, sondern wird stets kälter bleiben, wenn er auch noch so stark brodelt. Weingeist kann gar nicht solch eine Hitze (such a great heat) annehmen, wie Herr *Réaumur* ihm zuspricht, und die Differenz ist nicht einmal klein. Ich finde für hoch rectificirten Weingeist 175° F., während Wasser 37° höher siedet ....«

In der That wäre es wünschenswerth, dass die heute noch so vielfach im Gebrauche stehende angeblich *Réaumur*'sche Skala definitiv beseitigt würde. *Réaumur* hat verwandte Gebiete der Physik gefördert, die Thermometrie dagegen wurde tüchtig in Verwirrung gebracht. Die jetzige R. Skala ist weit von der echten alten *Réaumur*'schen entfernt. Es sei gestattet, an Jean André *Deluc*'s Bemerkungen hierüber zu erinnern. Er schreibt in seinen »Nouvelles idées sur la météorologie«. Paris 1787, deutsche Ausg. Seite 28 § 34: »Die Vergleichbarkeit erfordert wesentlich entweder zwei feste Punkte, welche der Skale zur Basis dienen, oder Einen festen Punkt, der auf eine Substanz angewendet wird, deren individuelle Theile alle auf gleiche Art durch die Feuchtheit verändert werden. Auf diese Weise haben die Herren *de Réaumur* und *de Lisle* gesucht, ein Thermometer zu verfertigen; der erste durch Gefrierung, als einen festen Punkt, und durch das Maass der Ausdehnungen eines gewissen

Weingeistes, um von diesem Punkte auszugehen; (denn so ist das Thermometer des Herren *de Réaumur* beschaffen, von dem so viele Physiker sprechen, ohne einmal zu wissen, was es war), und der letzte durch die Hitze des kochenden Wassers als festen Punkt, und durch das Maass der Verdichtungen des Quecksilbers, um von diesem Punkte auszugehen«. Hier folgt die Anmerkung *de Luc*'s: »Ob ich gleich nicht Ursache habe, zu glauben, das viele Physiker mein weitläufiges Werk über die Modificationen der Atmosphäre mit ununterbrochener Aufmerksamkeit gelesen haben; so verwundere ich mich dennoch, dass so viele das *Réaumur*'sche Thermometer ein Quecksilberthermometer nennen, das zwischen den Temperaturen des schmelzenden Eises und kochenden Wassers, bey einem gegebenen Barometerstand, in 80 Theile getheilt sei. Als ich diese Skale aus gegründeten Ursachen angenommen, und die correspondirenden sehr verschiedenen Gänge dieses und des *Réaumur*'schen Thermometers festgesetzt hatte; so rieth mir Herr *de la Condamine*, dem ich dies Werk im Manuscript mittheilte, die Zahl 80 zu verändern, weil dieses bey der so gewöhnlichen Unachtsamkeit so gar mancher Physiker Irrthum veranlassen möchte. Ich kannte diese Unachtsamkeit noch nicht so gut wie er, und bauete zu viel auf zwei Betrachtungen, wovon ich eine anzeigte, und die andere eine unzeitige Bescheidenheit war. Zuletzt gereuet es mich, da ich durch die Erfahrung die Prophezeihung des Herren *de la Condamine* bestätigt finde«.

Viele historische Anmerkungen von Werth über *Réaumur*'s und seiner Zeitgenossen Bestrebungen findet man in

G. G. Hauboldus, »De Thermometro Réaumuriano«. Lipsiae 1771.

Dr. Fr. Burckhardt, »Die wichtigsten Thermometer des achtzehnten Jahrhunderts« Basel 1871.

J. H. Lambert: »Pyrometerie oder vom Maasse des Feuers und der Wärme.« Berlin 1779.

Namentlich die letztgenannte Schrift giebt ein werthvolles Material, das weit die sonst anerkennenswerthen Versuche *G. Martine*'s, alle bekannt gewordenen Skalen miteinander zu vergleichen, übertrifft. Nicht weniger als 19 verschiedene im Gebrauche befindliche Skalen stellt *Lambert* zusammen, während *Martine* deren nur 13 bearbeitet hat. Unter diesen 19 Skalen kommen drei *Réaumur*'sche vor, nämlich: 1) die Skale, die *Réaumur*

beabsichtigt hatte, 2) die Skale, die man an Quecksilberthermometern angebracht und nach *Réaumur* benannt hat, und 3) die Skale, die *Réaumur*'s Erfolg darstellt, die aber nicht mit seinen Intentionen stimmt! Es ist ein blinder Zufall, dass die letzteren beiden Skalen von — 15° bis + 15° sehr nahe miteinander übereinstimmen. In seiner gewohnten pikanten Weise schreibt *Lambert* pag. 63, § 116: »Bey den bisher angegebenen Vergleichungen habe ich die Ausdehnung der Materien durch die Wärme einander proportional gesetzt. Die Materien waren Luft, Leinöl und Quecksilber, und sie gehen auch in der That wenig von einander ab. Ich habe auch bereits schon angemerkt, dass der Weingeist, zumal wenn er eingeschlossen ist, hieran eine Ausnahme mache, die man auch überhaupt bey den wässerichten Materien findet. *Réaumur* wusste es, und dennoch gab er den Thermometern von Weingeist den Vorzug. Er liess an seinen Thermometern grosse Kugeln von zween bis drey Zoll Durchmesser, und machte sie gerade dadurch desto unempfindlicher und langsamer in ihrem Gange. Er wählte den Grad des frierenden Wassers oder schmelzenden Eises, und die vom siedenden Wasser zum Grunde der Eintheilung und da er fand, dass sein Weingeist sich von 1000 zu 1080 ausdehnte, so theilte er auch den Zwischenraum in 80 Theile«.

Der Leser wird sich davon überzeugen, dass man die Originalarbeit *Réaumur*'s kennen muss, um Bescheid in der Frage zu erhalten. Die Berichte sind alle gar zu flüchtig gehalten. Weiter schreibt *Lambert* in § 117: »Dieses schien alles ganz gut ausgedacht zu seyn, und viele, die lieber dem Herrn von *Réaumur* eine Höflichkeit erweisen als die Sache selbst untersuchen wollten, fanden seine zwo Abhandlungen hierüber vortrefflich. Indessen waren nicht alle so leichtgläubig. Ein auf die Pariser Sternwarte, neben das alte *La Hirische* gesetztes Thermometer wurde nach einigen Jahren gegen ein anderes, das besser gerathen seyn sollte, umgetauscht. Man hörte nach und nach von ganz unglaublichen Graden sprechen, die in verschiedenen Welttheilen mit dem *Réaumur*'schen Thermometer beobachtet worden. Die Vergleichung desselben mit Quecksilber-Thermometern wollte auch nicht von statten gehen. Ueberdies trat auch bald *Micheli du Crest* auf und beschuldigte das *Réaumur*'sche Thermometer, dass daran die zum Grunde gelegten Grade gar nicht getroffen worden, und besonders dass sein Grad des siedenden Wassers nichts wenigers als das,

sondern nur der Grad des siedenden mittelmässigen Weingeistes sey. *Martine* in seinen Abhandlungen über die Thermometer und Grade der Wärme führte ähnliche Klägden, und erhielt den Beyfall des Herrn von *Mairan*. Endlich hat auch ganz neulich Herr *de Luc* sich in seinen Modifications de l'Atmosphère über dem *Réaumur*'schen Thermometer sehr lange aufgehalten, und die Mühe genommen, ein Thermometer zu verfertigen, welches nach *Réaumur*'s Vorschrift eingetheilt war, um dessen Fehler noch mehr aufzudecken. Aus allem ergab sichs, dass was *Réaumur* für 80 Grade ausgab, an seinen Thermometern in der That 90, 100 bis 110 Grade austrug, und dass sie nichts weniger als übereinstimmend waren«.

Erst *Michel du Crest* schmilzt sein Weingeistthermometer zu und bestimmt alsdann erst den Siedepunkt des Wassers. Hierzu bemerkt *Lambert*: »Vielleicht wusste er nach Anleitung des *Papin*ischen Siedetopfes, dass eingeschlossen Wasser einer grösseren Wärme und Ausdehnung fähig ist, und so konnte er schliessen, dass auch der Weingeist im Thermometer ganz eingeschlossen werden müsse, wenn er die Hitze des siedenden Wassers aushalten soll«.

Bei *de Luc* finden wir in der That keine abfällige Kritik der *Réaumur*'schen Methoden. Ueber *de Luc* eigene thermometrische Leistungen spricht recht unsanft *Lambert* § 127: »*de Luc* war unstreitig sehr emsig, und trägt in seinem Werke ungemein Sorge, dass seinen Lesern auch nicht das geringste von seinen Bemühungen unbekannt bleibe, damit sie ihm fein Dank dafür wissen mögen. Meines Erachtens wird die Sache selbst dadurch nicht gut gemacht. Sie bleibt was sie ist, und muss immer an und für sich betrachtet werden. Und so hätte Herr *de Luc* in einem 4mal kleineren Werke 4mal mehr sagen können, als er wirklich gesagt hat. Ich verstehe, dass das Gesagte nicht nach den Worten, sondern nach den Gedanken müsse gemessen werden.« Trotzdem benutzt er mehrfach *de Luc*'s Rechnungen, und würdigt besonders seine Thermometer-Beobachtungen. Nach dem Jahre 1733 ist *Réaumur* nicht mehr auf Thermometrie in seinen Publicationen zurückgekommen. Dagegen suchte der Abbé Jean Antoine *Nollet* (1700—1770) in *Réaumur*'s Sinne weitere Vervollkommnungen ins Werk zu setzen.

Man ist überrascht, wenige Jahre später unsere heutigen Fixpunkte in schärfster klarer Definition bei *Celsius* zu finden. Die einzige Abweichung besteht in der späteren Umkehr der Skale, denn *Celsius* nannte den Siedepunkt 0, den Gefrierpunkt 100.

Anders Celsius, geboren am 27. November 1701 in Upsala, gestorben am 25. April 1744 in Upsala, war ebenda Professor der Astronomie seit 1730. — Er hatte von 1732 an einige Jahre in Deutschland, Italien und Frankreich zugebracht, war Mitglied der Akademie der Wissenschaften zu Stockholm und der Societät zu Upsala. Seine Arbeiten sind sämmtlich astronomischen Inhalts und enthalten einige Notizen über Meteorologie und Erdmagnetismus. Wir bringen den Text der Abhandlung: »Observationer om tvenne beständiga grader på en thermometer« aus den Vetensk. Akad. Handl. vom Jahre 1742. Die deutsche Uebersetzung ist von *Kästner* vom Jahre 1750.

Die Einführung der 100 theiligen Skale in Frankreich ist indess sicher nicht auf den Vorgang von *Celsius* zurückzuführen. Schon 1740 trat *du Crest* mit vielen Argumenten gegen *Réaumur*'s Verfahren auf. Er benutzt bereits den Quecksilbertropfen, um die Capillarröhren zu calibriren, verwirft jedoch das Quecksilber als Thermometerflüssigkeit, schon weil es gar zu schwer sei, es zu reinigen, er verwirft ferner den Gefrierpunkt des Wassers als unzuverlässig und wählt für den Ausgang der Theilung das »tempéré« der Erde. Von dieser Temperatur bis zum Siedepunkt das Wassers nimmt er eine Skale, die er in 100 Theile theilt. Dadurch erzielt er Grade, welche nahe mit der Réaumur-Skale übereinstimmen, denn dass *Réaumur* niemals den wahren Siedepunkt des Wassers bekommen, durchschaut *du Crest*. Doch ist er noch an *Réaumur*'s Gedanken der relativen Volumzunahme des Weingeistes gebunden, denn er spricht von seiner bestrectificirten Qualität, deren Ausdehnung von 909 beim »tempéré« bis 1009 im siedenden Wasser reiche. Bei *Réaumur*'s Thermometern hatte *du Crest* Siedepunkte statt bei 80 verschieden gefunden: zwischen 105, und 115 Grad. — Seinen Nullpunkt nannte er »tempéré du globe«. Aus diesem Allem ist ersichtlich, dass eine bleibende 100 theilige Skale von *du Crest* keineswegs erreicht wurde. Dagegen 1743, also ein Jahr später als *Celsius*, trat *Christin* auf, der zum Quecksilber mit Entschiedenheit zurückkehrt.

Auch hat er dieselben Fixpunkte, wie *Celsius*, nur berücksichtigt er nicht die mit dem Drucke veränderlichen Siedepunkte, obwohl 19 Jahre seit *Fahrenheit*'s Entdeckung vergangen waren!

Der Behauptung *Burckhardt*'s (l. c. pag. 24) muss man beipflichten, dass »*Christin*'s Thermometer das centesimale französische Quecksilberthermometer sei«. *Christins* Studien datiren übrigens mindestens seit 1736. — Schon am 13. Juli 1740 entscheidet er sich für das Quecksilber, später klagt er mehrfach über Schwierigkeiten bei Bestimmung des Gefrierpunktes, bis er 1743 fertig zu sein glaubt und schreibt: »Wenn das Publikum die neue Eintheilung in 100° annehmen will, so glaube ich, dass es daran gut thut, will es anders, so werde ich mich darüber nicht ärgern; denn ich finde Genugthuung in dem Gedanken, mein Bestes gethan zu haben«. — Um Messung höherer Temperaturen haben alle genannten Forscher sich wenig gekümmert.

Schliesslich sei in Betreff des *Réaumur*'schen Thermometers noch erwähnt, dass schon 1743 in Frankreich ein solches mit Quecksilber gefertigt und dennoch nach *Réaumur* benannt wurde. In einer Abhandlung von *François Boissier de Sauvages*, Professor der Botanik an der Universität Montpellier, und Mitglied der Leopoldinischen Akademie, betitelt: »Nachrichten von denen Seidenwürmern, und von der sichersten Art sie aufzuerziehen« in »Memorie sopra la fisica e istoria naturale« Lucca 1743. Deutsch im Hamburg. Magazin Bd. I. pag. 125 findet sich nachstehender Passus, der bereits sehr an das heutige Verfahren erinnert.

»Die Art Quecksilberthermometer zu machen, die mit des Herrn von Réaumur seinen übereinstimmen«.

»Man nimmt ein gläsern enges Haarröhrchen, das auf einer Seite offen ist, und auf der andern ein Kügelchen von drey oder vier Linien im Durchmesser hat. Man bringt dieses Kügelchen über Feuer, indem das Obertheil der Röhre in ein Papier gestecket, oder damit bewickelt ist, darinnen sich wohlgereinigtes Quecksilber befindet, dieses wird in die Röhre hineindringen, daselbst aufwallen, alle Luftbläschen werden davon gehen, und das Thermometer wird gefüllt seyn. Alsdann lässt man es kalt werden, so dass das Papier noch beständig voll Quecksilber erhalten wird, und man solches nicht eher wegnimmt, als wenn die Kugel ist in kalt Wasser

gesetzet worden, und die völlig erkältete Röhre ganz voll Quecksilber ist. Nach diesem setzt man das Thermometer in ein Gefäss mit kochendem Wasser, das Quecksilber wird sich alsdann ausbreiten, und zum Theil durch die Oeffnung herausgehen; wenn nichts mehr heraus geht, setzt man Thermometer in Schnee oder geschabtes Eis, so wird das Quecksilber bis auf einen gewissen Punkt heruntersinken, den man mit 0 wie den obersten Punkt mit 87 bezeichnet*). Also wird 0 der Grad des Gefrierens, und 87 der Grad der Hitze im kochenden Wasser seyn. Alsdann theilt man den Raum zwischen beyden in 87 gleiche Theile, die man mit ihren Zahlen 0, 5, 10, 15 u. s. f. über 0 und bis 15 unter 0, auf das Täfelchen schreibt, daran das Thermometer gemacht wird, so ist es fertig. Es wird desto empfindlicher seyn, je enger die Röhre und je weiter die Kugel ist«.

Die Theilung in 87 Grade wird leider nicht motivirt; sie ist nicht ohne Interesse, wenn man den Text in *Réaumur*'s erster Abhandlung vergleicht. Die so sehr ungleiche Ausdehnung von Weingeist und Quecksilber wird schlechtweg ignorirt. So ist denn *Réaumur*'s Streben, die relative Volumenzunahme seines Weingeistes als Skale zu erwählen, ohne weiteres schon nach 12 Jahren bei Seite geschoben.

Zu Fahrenheit's Abhandlungen.

1) *Zu S. 4.* Es ist dieses das erste mit Quecksilber gefertigte Thermometer. Zwar hat *Christian Freiherr von Wolf* schon früher, 1709, Quecksilber verwandt, aber nur zu Thermoskopen.

2) *Zu S. 7.* Von drei Fixpunkten spricht wohl nur *Fahrenheit*. Der unterste Punkt wird bestimmt in einer Kältemischung, deren quantitative Zusammensetzung nirgends angegeben wird.

3) *Zu S. 12.* Siehe Einleitung auf Seite 126.

4) *Zu S. 17.* Siehe Seite 126.

Anmerkungen zu Réaumur's Abhandlungen.

1) *Zu S. 23.* Vor *Amontons* hat schon *Halley* im Jahre 1693 die Constanz des Siedepunktes beobachtet, siehe

---

*) Wegen der Zahl 87 vergl. vorstehend Seite 47 der *Réaumur*'schen Abhandlung. D. H.

Philosoph. Transact. of London a. 1693: »Several experiments made to examine the nature of the expansion and contraction of fluids, by heat and cold, in order to ascertain the divisions of the thermometer« pag. 650. In dieser Abhandlung wird auch schon das Quecksilber, obwohl bedingt, empfohlen und darauf hingewiesen, dass die Temperatur des Quecksilbers im Barometer beachtet werden müsse. Aber auch *Newton* scheint schon 1680 die Constanz des Siedepunktes gekannt zu haben, denn wir finden folgende Stelle in seiner Philos. natural. Princ. math. Amstelodami 1723 (ursprünglich 1687 erschienen) pag. 372: »lux solis, cui calor proportionalis est, septuplo densior est in orbe Mercurii quam apud nos: et Thermometro expertus sum quod septuplo Solis aestivi calore aqua ebullit«, und später pag. 466: »Calor aquae ebullientis est quasi triplo major quam calor quem terra arida concipit ad aestivum Solem, ut expertus sum: et calor ferri candentis (si recte conjector) quasi triplo vel quadruplo major quam calor aquae ebullientis« (s. auch *Burckhardt*, die Erfind. d. Therm. 1867 pag. 47 und die wichtigsten Therm. 1871, pag. 3).

2) *Zu S. 28.* Gegen diese starken Dimensionen spricht *Réaumur* sich selbst später aus auf Seite 55, wo die Unempfindlichkeit richtig gekennzeichnet wird.

3) *Zu S. 44.* Siehe die Einleitung S. 128, in welcher *Martine*'s scharfe Kritik dieses Verfahrens mitgetheilt wird.

4) *Zu S. 49.* Hier herrscht eine Verwirrung über die Volumzunahme.

5) *Zu S. 49.* Hier tritt zum erstenmale die bekannte Zahl 80 für den Siedepunkt auf. Welche Temperatur *Réaumur* wirklich gehabt hat, ist nicht mehr zu erkunden möglich. (s. Einleitung Seite 131.)

6) *Zu S. 50.* Es sei die zum Gemische zu nehmende Wassermenge $= H$, und die Weingeistmenge $= A$; die Menge des Gemisches betrage G und es seien die Ausdehnungscoefficienten beziehentlich h, a und g, so hat man nach *Réaumur* sich folgenden Ansatz zu denken:

$$H \cdot h + A \cdot a = G \cdot g \qquad 1)$$

$$H + A = G \qquad 2)$$

folglich $$H(h - a) = G(g - a)$$

und $$A(a - h) = G(g - h)$$

mithin $$\frac{H}{A} = \frac{a-g}{g-h} \, .$$

Wenn also $h = 3 \cdot 75$ Prozent, $a = 8 \cdot 75$ und verlangt wird $g = 7 \cdot 5$, so ist $H : A = 1 \cdot 25 : 3 \cdot 75 = 1 : 3$ und richtig ergiebt sich auch

$$(a - g)\, h + (g - h)\, a = g\, (a - h);$$

d. h. Mengen, die sich verhalten wie die Differenzen der Coefficienten, also $(a - g)$ Wasser mit $(g - h)$ Alcohol, geben ein Gemenge $a - h$ mit dem gewünschten Coefficienten g. Offenbar wird bei diesem Ansatz von der Volumverminderung während des Vermischens abgesehen. *Réaumur* hat dieselbe bald nachher entdeckt. (s. III. Abhandlung v. *Réaumur*, S. 100.)

7) *Zu S. 52.* Durch sämmtliche Abhandlungen kann sich *Réaumur* nicht entschliessen, kurz und bündig von Graden der Temperatur nach seiner Skale zu sprechen. Hier tritt eine »für die Inspiration heisse Luft« auf, auf derselben Seite 52 eine »den Parisern angenehme Sommertemperatur«.

8) *Zu S. 60.* Um $10\frac{1}{4}°$ R. auszudrücken, braucht unser Autor wieder 7 Zeilen; die erste halbe Zeile hätte genügt.

9) *Zu S. 61.* Der Autor bezieht sich auf die hier folgende Abhandlung Seite 100.

10) *Zu S. 63.* Wir finden hier eine Bemerkung, die heutzutage wohl fortfallen dürfte, damals aber völlig am Platze war. Hatte doch *la Hire* seit 1670 an seinem Thermometer Beobachtungen angestellt und von diesem Instrumente theilt er mit, dass es im Keller der Sternwarte 48° gezeigt habe, und ferner dass »die Luft in einem offenen Saale zu der Zeit, wenn es auf dem Felde friert, 32° zeigt«, und diese Angabe wurde alle Jahre aufs Neue der Akademie vorgelesen, wenn *la Hire* über seine Wetterbeobachtungen Bericht erstattete! S. auch Burckhardt, pag. 5.

11) *Zu S. 81.* Die hier zu Tage tretende Verwirrung der Vorstellungen über Wärmeleitungsfähigkeit ist auch nicht mehr als zeitgemäss anzuerkennen, wie man aus *Martine* entnehmen kann.

12) *Zu S. 85.* Die Versuche sind beachtenswerth, weil es die ersten über Absorption überhaupt angestellten sind nach dem *Mariotte*'schen. (S. auch Seite 88.)

13) *Zu S. 87.* Diese Ueberlegung ist wohl erstaunlich. Das gemessene Luftvolumen 54 Theile, befindet sich doch im gesammten Weingeist absorbirt. Das Volumen des letzteren ist nicht mitgetheilt. Der Ausspruch wird noch auffälliger, wenn man die nun folgende strikt entgegengesetzte Speculation verfolgt. Seite 88 ff.

14) *Zu S. 91.* Auch hier fehlt eine genaue Angabe des Weingeistvolumens. Nehmen wir an, es seien die 54 Theile von 800 oder 1000 Theilen Weingeist absorbirt gewesen, so stimmt dieses recht gut mit dem Absorptionscoefficienten, denn letzterer ist für Wasser = 0·018, für reinen Alcohol 0·155. Ein verdünnter Alcohol absorbirt also 18 bis 155 Theile auf 1000.

15) *Zu S. 93.* Die Contraction des Wassers unterhalb 4° war dem Autor noch nicht bekannt. Die ganze Erklärung ist hinfällig.

16) *Zu S. 94.* Das ist ein Irrthum. (S. Anm. 14.)

17) *Zu S. 100.* Das ist wohl so zu verstehen, dass allmählich das Pulver vom Wasser durchsetzt wird, so dass das Nachfüllen möglich wird.

18) *Zu S. 107.* Es ist schwer zu verstehen, warum der Autor nicht den Gedanken gegenseitiger Durchdringung erfasst, der doch auf keine Weise beseitigt werden kann.

19) *Zu S. 115.* Ueber diesen Gegenstand vergl. *Lemery* »Cours de chimie« 1675 und *Pogg.* »Geschichte der Chemie« II. pag. 308.

Zu Celsius' Abhandlung.

20) *Zu S. 118.* Richtiger geschrieben *Martine.* (S. Einl. z. d. Anm.).

21) *Zu S. 123.* Im 11. Bande der Abh. der schwed. Akad. findet man angegeben, dass die von *Celsius*, *Strömer* und *Eckström* in Schweden verfertigten Thermometer am Gefrierpunkte 0, beim Siedepunkte 100 haben. Wann wird diese Skale allein und allgemein im Gebrauche sein? Wenn doch das 20. Jahrhundert von Skalen nach *Fahrenheit* und *Réaumur* verschont bliebe!

Inhaltsverzeichniss.

D. G. Fahrenheit.

Réaumur.

Anders Celsius.

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.

…onstrationen über
…t 90 Fig. im Text.
… A. von Oettin-

…3. Tag, mit 23 Fig.
…rausg. von A. von

…ensura et gradibus
…herausg. v. E. An-
… 35 Fig. im Text.

…nd V. Mit 32

… — Anmer-
…50.

…hemat. Theorie
…umann. Mit

… Feuers und
…nen. (1824.)
…72 S.) *M* 1.20.

…gen über die
…Rosenthal.

…y-Lussac.
…802-1842.)
…) *M* 3.—.

…ät bei der
…tingen.

…bsolut…
…aft…

» 55. …

» 56. C…
er…
v. …

» 57. Fa…
(17…
Mit…

» 59. Otto…
leere…
Anm…
15 T…